



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE LONDRINA

---

CLAUDINEI ANTONIO MINCHIO

**ENOS, PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA, OCORRÊNCIAS  
DE FERRUGEM ASIÁTICA NA ENTRESSAFRA E RELAÇÃO  
COM EPIDEMIAS DA DOENÇA NOS ESTADOS DO PARANÁ,  
RIO GRANDE DO SUL E MATO GROSSO**

CLAUDINEI ANTONIO MINCHIO

**ENOS, PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA, OCORRÊNCIAS  
DE FERRUGEM ASIÁTICA NA ENTRESSAFRA E RELAÇÃO  
COM EPIDEMIAS DA DOENÇA NOS ESTADOS DO PARANÁ,  
RIO GRANDE DO SUL E MATO GROSSO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em  
Agronomia, da Universidade Estadual de Londrina,  
para obtenção do título de Doutor em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Giovanetti Canteri.

Londrina  
2016

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

Minchio, Claudinei Antonio .

ENOS, precipitação pluviométrica, ocorrências de ferrugem asiática na entressafra e relação com epidemias da doença nos Estados do Paraná, Rio Grande do Sul e Mato Gross / Claudinei Antonio Minchio. - Londrina, 2016.  
239 f. : il.

Orientador: Marcelo Giovanetti Canteri.

Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2016.  
Inclui bibliografia.

1. Epidemiologia - Teses. 2. Elementos meteorológicos - Teses. 3. Phakopsora pachyrhizi - Teses. 4. Modelagem - Teses. I. Canteri, Marcelo Giovanetti. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

CLAUDINEI ANTONIO MINCHIO

**ENOS, PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA, OCORRÊNCIAS DE  
FERRUGEM ASIÁTICA NA ENTRESSAFRA E RELAÇÃO COM  
EPIDEMIAS DA DOENÇA NOS ESTADOS DO PARANÁ, RIO GRANDE  
DO SUL E MATO GROSSO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em  
Agronomia, da Universidade Estadual de Londrina,  
para obtenção do título de Doutor em Agronomia.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Giovanetti Canteri  
Universidade Estadual de Londrina – UEL

---

Prof. Dr. Marcelo Augusto de Aguiar e Silva  
Universidade Estadual de Londrina - UEL

---

Prof. Dr. Maria Isabel Balbi Peña  
Universidade Estadual de Londrina - UEL

---

Prof. Dr. Dauri José Tessmann  
Universidade Estadual de Maringá - UEM

---

Prof. Dr. Seiji Igarashi  
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Londrina, 24 de fevereiro de 2016.

**DEDICATÓRIAS**

**A Deus;**

**Aos meus pais (Claudinei e Geralda (*in  
memoriam*));**

**À minha esposa Neusa e filhas Beatriz e  
Luísa;**

**Ao Prof. Dr. Clóvis Alberto Volpe (*in  
memoriam*)**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Professor Marcelo Giovanetti Canteri, não só pela constante orientação neste trabalho, mas sobretudo pela sua amizade, pelo apoio e confiança.

Ao professor Seiji Igarashi pela inspiração, motivação e desafios.

Aos professores Marcelo Augusto de Aguiar e Silva e Dauri José Tessmann pelas orientações na formação da identidade científica e pessoal.

Aos meus colegas de turma, que trago com muito carinho no coração.

Ao Técnico José Antonio de Souza pelo apoio físico, espiritual, familiar.

Ao amigo Celso Daniel Seratto, do Instituto EMATER que muito contribuiu para a realização desse trabalho,

À Universidade Estadual de Londrina (UEL) por possibilitar que profissionais que trabalham possam ter a chance de concluir a pós-graduação;

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) pela gentileza da disponibilização dos dados meteorológicos tão necessários à análise dos resultados;

À existência do CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM no Brasil e pela importância da disponibilização das informações a pesquisadores, extensionistas e produtores;

À Prefeitura Municipal de Peabiru pelo incentivo e apoio na elaboração do projeto;

Aos funcionários e comissionados da Prefeitura do Município de Peabiru que me apoiaram e também disponibilizaram do seu tempo para que pudesse finalizar meus estudos;

Ao Instituto EMATER que acreditou no meu esforço, apoiou e utiliza diretamente as informações geradas desde a etapa do mestrado.

MINCHIO, Claudinei Antonio. **ENOS, precipitação pluviométrica, ocorrências de ferrugem asiática na entressafra e relação com epidemias da doença nos Estados do Paraná, Rio Grande do Sul e Mato Grosso**. 2016. 241 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2016.

## RESUMO

O objetivo deste trabalho foi desenvolver modelos matemáticos que pudessem ser utilizados em previsão de epidemias de ferrugem asiática da soja a partir de índices de variabilidade climática e a ocorrência da doença no período da entressafra. Utilizou-se dados de 11 safras agrícolas, em regiões de abrangência do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), para os Estados do Paraná, Mato Grosso e Rio Grande do Sul. Num primeiro momento, foram feitas análises de regressão polinomial linear e quadrática para a obtenção da correlação entre as variáveis climáticas precipitação pluviométrica, índice padronizado de precipitação (SPI-3), índice de oscilação sul (IOS) e índice SST Niño 3.4 (Temperatura na Superfície do Mar) com as ocorrências de sintomas de ferrugem relatados no *site* do Consórcio Antiferrugem, entre as regiões, nas safras e nos trimestres de cada safra. Regressões foram feitas para se estimar a influência das ocorrências verificadas no período “Entressafra” sobre as ocorrências da “Safra”. Houve diferença entre o comportamento dos índices para os três estados. O índice que melhor explicou a variação do número de ocorrências da doença foi o SST Niño 3.4 para os 3 estados analisados, tanto nos períodos “Ano Todo” como “Safra”, menos na “Entressafra”, obteve coeficientes de determinação ( $R^2$ ) variando de 0,92 a 0,99, respectivamente. O número de relatos da “Safra” e “Ano Todo” têm relação com as ocorrências da “Entressafra”, obteve  $R^2$  entre 0,80 e 0,97, respectivamente, indicando maior atenção sobre a ocorrência de ferrugem da entressafra na previsão de ocorrências na safra, para todos os estados. Numa segunda etapa, foram desenvolvidos modelos tridimensionais a partir de regressão polinomial linear e quadrática, onde as variáveis climáticas foram consideradas como variáveis independentes (Y). A ocorrência de sintomas de ferrugem no período “Entressafra” foi considerada variável independente (X). O modelo estimou os efeitos sobre as ocorrências da safra (Z – variável dependente), relatados no *site* do Consórcio Antiferrugem. Para o Estado do Paraná, os melhores modelos foram  $Z=2,6740X+0,0269Y+0,00002Y^2$  e  $Z=3,0398X+5,1568Y+21,6882Y^2$ , para precipitação pluviométrica e SST Niño 3.4, respectivamente. Para o Estado do Rio Grande do Sul, os melhores modelos foram  $Z=3,2020X+0,0038Y+0,00003Y^2$  e  $Z=4,1643X+1,5292Y+8,7374Y^2$ , para precipitação pluviométrica e SST Niño 3.4, respectivamente. Para o Estado do Mato Grosso, os melhores modelos foram  $Z=9,9563X+0,1814Y+1,0024Y^2$ ,  $Z=9,0706X-0,2036Y+2,5340Y^2$  e  $Z=8,6914X-0,0001Y+0,000007Y^2$ , para IOS-3, SST Niño 3.4 e precipitação pluviométrica respectivamente. Num terceiro momento, o objetivo foi testar os modelos encontrados para a safra 2015/2016, o que confirmou até o momento os números reais de ocorrência de ferrugem asiática para os três estados estudados.

**Palavras-chave:** Chuva, epidemiologia, elementos meteorológicos, *Phakopsora pachyrhizi*, modelagem.

MINCHIO, Claudinei Antonio. **ENSO, rainfall, occurrences of Asian soybean rust in the off season and relation of outbreaks of the disease in the States of Paraná, Rio Grande do Sul and Mato Grosso.** 2016. 241 p. Thesis (Doctorate in Agronomy) – State University of Londrina, Londrina, Paraná, 2016.

## ABSTRACT

The objective of this study was to develop mathematical models that could be used in prediction of Asian soybean rust epidemics from climate variability index and the occurrence of the disease in the period between harvests. We used data of 11 agricultural crops in the regions of coverage of the National Institute for Space Research (INPE) for the States of Paraná, Mato Grosso and Rio Grande do Sul. At first, we made of linear and quadratic polynomial regression analyses to obtain the correlation between climate variables rainfall, standardized index of precipitation (SPI-3), Southern Oscillation Index (IOS-3) and Sea Surface Temperature (SST Niño 3.4) with the occurrences rust symptoms reported in the Anti-rust Consortium site, between regions, and vintages in the quarter of each harvest. Regressions were performed to estimate the influence of the events that occur in the period “off season” about the events of the “harvest”. There were differences between the behavior of the indexes for the three states. The index that best explains the variation in the number of disease occurrences was the SST Niño 3.4 for the states analyzed in the both “every year” and “harvest”, except in the “off season”, with coefficients of determination ( $R^2$ ) ranging from 0.92 to 0.99, respectively. The number of reports of “harvest” and “every year” periods are related to the number of “off-season” occurrences, with  $R^2$  between 0.80 and 0.97, respectively, indicating greater attention on the occurrence of rust in the “off season” events forecast in the “harvest”, for all states. In a second stage, they were developed three-dimensional models using linear and quadratic polynomial regression, where the climatic variables were considered as independent variables (Y). The occurrence of rust symptoms in the period "off season" was considered the independent variable (X). The model estimated the effects on the occurrence of crop (Z - dependent variable), reported in the Antitrust Consortium website. For the state of Paraná, the best models were  $Z = + 0,0269Y + 0,00002Y^2$  and  $Z = + 3,0398X + 5,1568Y + 21,6882Y^2$  to rainfall and SST Niño 3.4, respectively. For the State of Rio Grande do Sul, the best models were  $Z = + 0,0038Y + 0,00003Y^2$  and  $Z = + 4,1643X + 1,5292Y + 8,7374Y^2$  to rainfall and SST Niño 3.4, respectively. For the state of Mato Grosso, the best models were  $Z = + 0,1814Y + 1,0024Y^2$ ,  $Z = 9,0706X - 0,2036Y + 2,5340Y^2$  and  $Z = 8,6914X - 0,0001Y + 0,000007Y^2$  for IOS-3, SST Niño 3.4 and rainfall respectively. Thirdly, the objective was to test the models found for the 2015/2016 crop, which confirmed to date the actual numbers of occurrence of soybean rust for the three states.

**Key words:** Rainfall, epidemiology, meteorological elements, *Phakopsora pachtrhizi*, modeling.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

### ARTIGO A

- Figura 1** – Exemplo de visualização no site CPTEC/INPE dos dados de SPI-3 (trimestral) referente aos trimestre MJJ (Maio-Junho-Julho) de 2014, para a região (caixa) 111, correspondente à região noroeste do Estado do Paraná (BRASIL/INPE, 2015), onde **A** refere-se ao gráfico da precipitação acumulada no trimestre Maio-Junho-Julho de 2014 (mm) versus probabilidade de ocorrência (%), frente ao histórico de precipitação (1981-2010); **B**, região 111 (2,5° x 2,5°), do INPE, sobre o Estado do Paraná, e **C**, gráfico de propabilidade de ocorrência da precipitação acumulada verificada e SPI-3(Maio-Junho-Julho)..... 51
- Figura 2** – Mapa do Estado do Paraná, com a localização das regiões estabelecidas pelo INPE e as estações meteorológicas que coletam dados para a base do INPE (Fonte: BRASIL/INPE(2015), adaptado por Caviglione (2015)..... 52
- Figura 3** – Precipitação pluviométrica acumulada trimestral (mm) nas safras (2004/2005 a 2014/2015), para o Estado do Paraná..... 56
- Figura 4** – Precipitação pluviométrica acumulada trimestral (mm) para as regiões 111, 112, 113, 115, 116 e 117, definidas pelo INPE nas safras 2004/2005 a 2014/2015 para o Estado do Paraná..... 58
- Figura 5** – Número de ocorrências acumuladas de ferrugem asiática da soja relatados nos diversos meses do ano nas safras 2004/2005 a 2014/2015, obtidos no bando de dados do CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM, para o Estado do Paraná (BRASIL/CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM (2015)..... 59
- Figura 6** - Regressão polinomial quadrática da relação número de ocorrências e SPI 3, na escala temporal SAFRAS, no período “Safrá” (A) para todas as regiões e trimestres; onde, eixo Y, número de ocorrências e eixo X, índice SPI 3 e regressão polinomial quadrática da relação número de ocorrências e SST Niño 3.4, no período “Safrá” (B) para todas as regiões e trimestres, para o Estado do Paraná..... 62

- Figura 7** – Regressão polinomial quadrática da relação número de ocorrências e SPI 3, na escala temporal TRIMESTRES, no período “Ano Todo” (A) e período “Safrá” (B), para todas as regiões e safras; onde, eixo Y, número de ocorrências e eixo X, índice SPI 3, para o Estado do Paraná ..... 63
- Figura 8** – Regressão polinomial quadrática da relação número de ocorrências e SST Niño 3.4, na escala temporal TRIMESTRES no período “Ano Todo” (A) e período “Safrá” (B), para todas as regiões e safras; onde, eixo Y, número de ocorrências e eixo X, índice SST Niño 3.4, para o Estado do Paraná..... 64
- Figura 9** – Relação entre número médio de relatos de ferrugem asiática da soja verificados no período “Ano Todo” (A) eixo Y, decorrentes do efeito do número médio de relatos verificados no período “Entressafrá”, eixo X, com números médios observados dentro de cada safrá e número médio de relatos de ferrugem asiática da soja verificados no período “Safrá” (B) eixo Y, decorrentes do efeito do número médio de relatos verificados no período “Entressafrá”, eixo X, com números médios observados dentro de cada safrá, independentemente da região para as 6 regiões do INPE, para o Estado do Paraná ..... 67

## ARTIGO B

- Figura 1** – Exemplo de visualização no site CPTEC/INPE dos dados de SPI-3 (trimestral) referente aos trimestre MJJ (Maio-Junho-Julho) de 2014, para a região (caixa) 119, correspondente à região noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (BRASIL/INPE, 2015), onde **A** refere-se ao gráfico da precipitação acumulada no trimestre Maio-Junho-Julho de 2014 (mm) versus probabilidade de ocorrência (%), frente ao histórico de precipitação (1981-2010); **B**, região 119 (2,5° x 2,5°), do INPE, sobre o Estado do Rio Grande do Sul, e **C**, gráfico de propabilidade de ocorrência da precipitação acumulada verificada e SPI-3(Maio-Junho-Julho)..... 83
- Figura 2** – Mapa do Estado do Rio Grande do Sul, com a localização das regiões estabelecidas pelo INPE e as estações meteorológicas que coletam dados para a base do INPE. Fonte: BRASIL/INPE(2015), adaptado por Caviglione (2015)..... 85

<b>Figura 3 –</b>	Precipitação pluviométrica acumulada trimestral (mm) nas safras (2004/2005 a 2014/2015), para o Estado do Rio Grande do Sul .....	89
<b>Figura 4 –</b>	Precipitação pluviométrica acumulada trimestral (mm) para as regiões 115, 118, 119, 120, 123 e 124, definidas pelo INPE nas safras 2004/2005 a 2014/2015 para o Estado do Rio Grande do Sul.....	91
<b>Figura 5 –</b>	Número de ocorrências acumuladas de ferrugem asiática da soja relatados nos diversos meses do ano nas safras 2004/2005 a 2014/2015, obtidos no bando de dados do CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM, para o Estado do Rio Grande do Sul (BRASIL/CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM (2015)).....	92
<b>Figura 6 -</b>	Regressão polinomial quadrática da relação número de ocorrências com SST Niño 3.4, SPI-3 e Precipitação pluviométrica, na escala temporal SAFRAS, no período “Safrá” para todas as regiões e trimestres nas SAFRAS; onde, eixo Y, número de ocorrências e eixo X, as variáveis climáticas SST Niño 3.4, SPI-3 e Precipitação pluviométrica, para o Estado do Rio Grande do Sul.....	95
<b>Figura 7 –</b>	Regressão polinomial quadrática da relação número de ocorrências e Precipitação Pluviométrica Acumulada, na escala temporal TRIMESTRES, no período “Safrá”, para todas as regiões e safras; onde, eixo Y, número de ocorrências e eixo X, para o Estado do Rio Grande do Sul.....	96
<b>Figura 8 –</b>	Regressão polinomial quadrática da relação número de ocorrências e SPI-3, na escala temporal TRIMESTRES, no período “Safrá”, para todas as regiões e safras; onde, eixo Y, número de ocorrências e eixo X, para o Estado do Rio Grande do Sul.....	97
<b>Figura 9 –</b>	Regressão polinomial quadrática da relação número de ocorrências e SST Niño 3.4, na escala temporal TRIMESTRES, no período “Ano Todo” (A) e período “Safrá” (B), para todas as regiões e safras; onde, eixo Y, número de ocorrências e eixo X, para o Estado do Rio Grande do Sul.....	98
<b>Figura 10 –</b>	Relação entre número médio de relatos de ferrugem asiática da soja verificados no período “Ano Todo” (A) eixo Y, decorrentes do efeito do número médio de relatos verificados no período “Entressafrá”, eixo X, com números médios observados dentro de	

cada safra e número médio de relatos de ferrugem asiática da soja verificados no período “Safr” (B) eixo Y, decorrentes do efeito do número médio de relatos verificados no período “Entressafr”, eixo X, com números médios observados dentro de cada safra, independentemente da região para as 6 regiões do INPE, para o Estado do Rio Grande do Sul ..... 102

- Figura 11 –** Relação entre número médio de relatos de ferrugem asiática da soja verificados no período “Ano Todo” (A) eixo Y, decorrentes do efeito do número médio de relatos verificados no período “Entressafr”, eixo X, com números médios observados dentro de cada safra e número médio de relatos de ferrugem asiática da soja verificados no período “Safr” (B) eixo Y, decorrentes do efeito do número médio de relatos verificados no período “Entressafr”, eixo X, com números médios observados dentro de cada região, independentemente da safra, para o Estado do Rio Grande do Sul ..... 103

### ARTIGO C

- Figura 1 –** Exemplo de visualização no site CPTEC/INPE dos dados de SPI-3 (trimestral) referente aos trimestre MJJ (Maio-Junho-Julho) de 2014, para a região (caixa) 80, correspondente à região noroeste do Estado do Mato Grosso (BRASIL/INPE, 2015), onde **A** refere-se ao gráfico da precipitação acumulada no trimestre Maio-Junho-Julho de 2014 (mm) versus probabilidade de ocorrência (%), frente ao histórico de precipitação (1981-2010); **B**, região 80 (2,5° x 2,5°), do INPE, sobre o Estado do Mato Grosso, e **C**, gráfico de propabilidade de ocorrência da precipitação acumulada verificada e SPI-3 (Maio-Junho-Julho)..... 119
- Figura 2 –** Mapa do Estado do Mato Grosso, com a localização das regiões estabelecidas pelo INPE e as estações meteorológicas que coletam dados para a base do INPE (Fonte: BRASIL/INPE(2015), adaptado por Caviglione (2015) ..... 120
- Figura 3 –** Precipitação pluviométrica acumulada trimestral (mm) nas safras (2004/2005 a 2014/2015), para o Estado do Mato Grosso..... 124

<b>Figura 4 –</b>	Precipitação pluviométrica acumulada trimestral (mm) para as regiões 68, 69, 70, 71, 80, 81, 82, 89, 90, 91 e 98, definidas pelo INPE nas safras 2004/2005 a 2014/2015 para o Estado do Mato Grosso .....	128
<b>Figura 5 –</b>	Número de ocorrências acumuladas de ferrugem asiática da soja relatados nos diversos meses do ano nas safras 2004/2005 a 2014/2015, obtidos no bando de dados do CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM, para o Estado do Mato Grosso (BRASIL/CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM (2015)).....	129
<b>Figura 6 -</b>	Regressão polinomial quadrática da relação número de ocorrências Precipitação Pluviométrica, no período “Safrá” (A) e período para todas as regiões e trimestres, na escala temporal SAFRAS; onde, eixo Y, número de ocorrências e eixo X, SPI-3 e ; regressão polinomial quadrática da relação número de ocorrências e SST Niño 3.4, no período “Safrá” (B) para todas as regiões e trimestres, para o Estado do Mato Grosso .....	133
<b>Figura 7 –</b>	Regressão polinomial quadrática da relação número de ocorrências e Precipitação Pluviométrica acumulada trimestral, na escala temporal TRIMESTRES, no período “Ano Todo” (A) e período “Safrá” (B), para todas as regiões e safras; onde, eixo Y, número de ocorrências e eixo X, para o Estado do Mato Grosso .....	134
<b>Figura 8 –</b>	Regressão polinomial quadrática da relação número de ocorrências e SST Niño 3.4, na escala temporal TRIMESTRES, no período “Ano Todo” (A) e período “Safrá” (B), para todas as regiões e safras; onde, eixo Y, número de ocorrências e eixo X, para o Estado do Mato Grosso .....	135
<b>Figura 9 –</b>	Relação entre número médio de relatos de ferrugem asiática da soja verificados no período “Ano Todo” (A) eixo Y, decorrentes do efeito do número médio de relatos verificados no período “Entressafrá”, eixo X, com números médios observados dentro de cada safra e número médio de relatos de ferrugem asiática da soja verificados no período “Safrá” (B) eixo Y, decorrentes do efeito do número médio de relatos verificados no período “Entressafrá”, eixo X, com números médios observados dentro de cada safra,	

independentemente da região para as 12 regiões do INPE, no Estado do Mato Grosso ..... 138

#### ARTIGO D

- Figura 1 –** Exemplo de visualização no site CPTEC/INPE dos dados de SPI-3 (trimestral) referente aos trimestre MJJ (Maio-Junho-Julho) de 2014, para a região (caixa) 111, correspondente à região noroeste do Estado do Paraná (BRASIL/INPE, 2015), onde **A** refere-se ao gráfico da precipitação acumulada no trimestre Maio-Junho-Julho de 2014 (mm) versus probabilidade de ocorrência (%), frente ao histórico de precipitação (1981-2010); **B**, região 111 (2,5° x 2,5°), do INPE, sobre o Estado do Paraná, e **C**, gráfico de propabilidade de ocorrência da precipitação acumulada verificada e SPI-3(Maio-Junho-Julho)..... 154
- Figura 2 –** Mapa do Estado do Paraná, com a localização das regiões estabelecidas pelo INPE e as estações meteorológicas que coletam dados para a base do INPE (Fonte: BRASIL/INPE(2015), adaptado por Caviglione (2015) ..... 155
- Figura 3 –** Precipitação pluviométrica acumulada trimestral (mm) nas safras (2004/2005 a 2014/2015), para o Estado do Paraná..... 160
- Figura 4 –** Precipitação pluviométrica acumulada trimestral (mm) para as regiões 111, 112, 113, 115, 116 e 117, definidas pelo INPE nas safras 2004/2005 a 2014/2015 para o Estado do Paraná..... 162
- Figura 5 –** Número de ocorrências acumuladas de ferrugem asiática da soja relatados nos diversos meses do ano nas safras 2004/2005 a 2014/2015, obtidos no bando de dados do CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM, para o Estado do Paraná (BRASIL/CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM (2015)..... 163
- Figura 6 –** Superfície de resposta da ocorrência de ferrugem asiática da soja durante a “Saфра” (Z), pela regressão com as variáveis ocorrência na “Entressaфра”, (X) e a Precipitação no período “Saфра” (Y), para o Estado do Paraná ..... 165

## ARTIGO E

- Figura 1** – Exemplo de visualização no site CPTEC/INPE dos dados de SPI-3 (trimestral) referente aos trimestre MJJ (Maio-Junho-Julho) de 2014, para a região (caixa) 119, correspondente à região noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (BRASIL/INPE, 2015), onde **A** refere-se ao gráfico da precipitação acumulada no trimestre Maio-Junho-Julho de 2014 (mm) versus probabilidade de ocorrência (%), frente ao histórico de precipitação (1981-2010); **B**, região 119 (2,5° x 2,5°), do INPE, sobre o Estado do Rio Grande do Sul, e **C**, gráfico de propabilidade de ocorrência da precipitação acumulada verificada e SPI-3 (Maio-Junho-Julho)..... 182
- Figura 2** – Mapa do Estado do Rio Grande do Sul, com a localização das regiões estabelecidas pelo INPE e as estações meteorológicas que coletam dados para a base do INPE. Fonte: BRASIL/INPE(2015), adaptado por Caviglione (2015)..... 184
- Figura 3** – Precipitação pluviométrica acumulada trimestral (mm) nas safras (2004/2005 a 2014/2015), para o Estado do Rio Grande do Sul ..... 188
- Figura 4** – Precipitação pluviométrica acumulada trimestral (mm) para as regiões 115, 118, 119, 120, 123 e 124, definidas pelo INPE nas safras 2004/2005 a 2014/2015 para o Estado do Rio Grande do Sul..... 190
- Figura 5** – Número de ocorrências acumuladas de ferrugem asiática da soja relatados nos diversos meses do ano nas safras 2004/2005 a 2014/2015, obtidos no bando de dados do CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM, para o Estado do Rio Grande do Sul (BRASIL/CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM (2015)..... 191
- Figura 6** – Superfície de resposta da ocorrência de ferrugem asiática da soja durante a “Safrá” (Z), pela regressão com as variáveis ocorrência na “Entressafrá”, (X) e a Precipitação no período “Safrá” (Y), para o Estado do Rio Grande do Sul ..... 193

## ARTIGO F

- Figura 1** – Exemplo de visualização no site CPTEC/INPE dos dados de SPI-3 (trimestral) referente aos trimestre MJJ (Maio-Junho-Julho) de 2014, para a região (caixa) 111, correspondente à região noroeste do Estado do Paraná (BRASIL/INPE, 2015), onde **A** refere-se ao gráfico da precipitação acumulada no trimestre Maio-Junho-Julho de 2014 (mm) versus probabilidade de ocorrência (%), frente ao histórico de precipitação (1981-2010); **B**, região 111 (2,5° x 2,5°), do INPE, sobre o Estado do Paraná, e **C**, gráfico de propabilidade de ocorrência da precipitação acumulada verificada e SPI-3 (Maio-Junho-Julho)..... 207
- Figura 2** – Mapa do Estado do Mato Grosso, com a localização das regiões estabelecidas pelo INPE e as estações meteorológicas que coletam dados para a base do INPE (Fonte: BRASIL/INPE(2015), adaptado por Caviglione (2015) ..... 210
- Figura 3** – Precipitação pluviométrica acumulada trimestral (mm) nas safras (2004/2005 a 2014/2015), para o Estado do Mato Grosso..... 214
- Figura 4** – Precipitação pluviométrica acumulada trimestral (mm) para as regiões 68, 69, 70, 71, 80, 81, 82, 89, 90, 91 e 98, definidas pelo INPE nas safras 2004/2005 a 2014/2015 para o Estado do Mato Grosso ..... 218
- Figura 5** – Número de ocorrências acumuladas de ferrugem asiática da soja relatados nos diversos meses do ano nas safras 2004/2005 a 2014/2015, obtidos no bando de dados do CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM, para o Estado do Mato Grosso (BRASIL/CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM (2015)..... 219
- Figura 6** – Superfície de resposta da ocorrência de ferrugem asiática da soja durante a “Safrá” (Z), pela regressão com as variáveis ocorrência na “Entressafrá”, (X) e a anomalia da SST Ni~no 3.4 no período “Safrá” (Y), para o Estado do Mato Grosso..... 221

## ESTUDO DE CASO

- Figura 1 -** Mapas dos Estados do Paraná, Rio Grande do Sul e Mato Grosso, com a localização das regiões estabelecidas pelo INPE e as estações meteorológicas que coletam dados para a base do INPE (Fonte: BRASIL/INPE(2015), adaptado por Caviglione (2015) ..... 235

## LISTA DE TABELAS

### ARTIGO A

- Tabela 1** – Distribuição dos municípios com relato de ocorrência de ferrugem no CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM, nas safras 2004/2005 a 2014/2015, de acordo com sua região, para o Estado do Paraná, segundo BRASIL/INPE (2015)..... 54
- Tabela 2** – Coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de regressões lineares geradas entre o relato de ocorrência de ferrugem asiática, na safra, na entressafra e no total do ano, no site do CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM e os índices: Precipitação pluviométrica acumulada (acc), SPI-3, IOS-3 e SST Niño 3.4, para todas as regiões, safras e trimestres analisados, no Estado do Paraná..... 61
- Tabela 3** – Relação entre número médio de ocorrências de ferrugem asiática no período “Entressafra” (trimestres MAM, AMJ, MJJ, JJA) com os relatos registrados de ocorrência de ferrugem asiática nos períodos “Saфра” (Trimestres JAS, ASO, SON, OND, NDJ, DJF, JFM, FMA) e “Ano Todo” (Todos os trimestres), dentro de cada safra analisada no Estado do Paraná para as 6 regiões do INPE ..... 66

### ARTIGO B

- Tabela 1** – Distribuição dos municípios com relato de ocorrência de ferrugem no CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM, nas safras 2004/2005 a 2014/2015, de acordo com sua macrorregião, para o Estado do Rio Grande do Sul, segundo BRASIL/INPE (2015) ..... 87
- Tabela 2** – Coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de regressões lineares geradas entre o relato de ocorrência de ferrugem asiática, na safra, na entressafra e no total do ano, no site do CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM e os índices: Precipitação pluviométrica acumulada (acc), SPI-3, IOS-3 e SST Niño 3.4, para todas as regiões, safras e trimestres analisados, no Estado do Rio Grande do Sul ..... 94

<b>Tabela 3 –</b>	Relação entre número médio de ocorrências de ferrugem asiática no período “Entressafra” (trimestres MAM, AMJ, MJJ, JJA, JAS) com os relatos registrados de ocorrência de ferrugem asiática nos períodos “Safrá” (Trimestres ASO, SON, OND, NDJ, DJF, JFM, FMA) e “Ano Todo” (todos os trimestres), dentro de cada região analisada no Estado do Rio Grande do Sul .....	100
<b>Tabela 4 –</b>	Relação entre número médio de ocorrências de ferrugem asiática no período “Entressafra” (trimestres MAM, AMJ, MJJ, JJA, JAS) com os relatos registrados de ocorrência de ferrugem asiática nos períodos “Safrá” (Trimestres ASO, SON, OND, NDJ, DJF, JFM, FMA) e “Ano Todo” (Todos os trimestres), dentro de cada safra analisada no Estado do Rio Grande do Sul, para as 6 regiões do INPE .....	101

### ARTIGO C

<b>Tabela 1 –</b>	Distribuição dos municípios com relato de ocorrência de ferrugem no CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM, nas safras 2004/2005 a 2014/2015, de acordo com sua região, para o Estado do Mato Grosso, segundo BRASIL/INPE (2015) .....	122
<b>Tabela 2 –</b>	Coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de regressões lineares geradas entre o relato de ocorrência de ferrugem asiática, na safra, na entressafra e no total do ano, no site do CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM e os índices: Precipitação pluviométrica acumulada (acc), SPI-3, IOS-3 e SST Niño 3.4, para todas as regiões, safras e trimestres analisados, no Estado do Mato Grosso .....	132
<b>Tabela 3 –</b>	Relação entre número médio de ocorrências de ferrugem asiática no período “Entressafra” (trimestres MAM, AMJ, MJJ, JJA) com os relatos registrados de ocorrência de ferrugem asiática nos períodos “Safrá” (Trimestres JAS, ASO, SON, OND, NDJ, DJF, JFM, FMA) e “Ano Todo” (Todos os trimestres), dentro de cada safra analisada no Estado do Mato Grosso para as 6 regiões do INPE .....	137

## ARTIGO D

- Tabela 1 –** Distribuição dos municípios com relato de ocorrência de ferrugem no CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM, nas safras 2004/2005 a 2014/2015, de acordo com sua região, para o Estado do Paraná, segundo BRASIL/INPE (2015)..... 158
- Tabela 2 –** Coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e p-valor para as regressões polinomiais linear e quadrática encontradas no modelo tridimensional que relaciona a variável independente “X” ocorrência de ferrugem asiática no período “Entressafra” com a variável independente “Y”, como as variáveis climáticas do período “Safra” e seus efeitos sobre a ocorrência de ferrugem asiática no período “Safra”, para constante matemática diferente e igual a zero, para o Estado do Paraná ..... 166
- Tabela 3 –** Modelo matemático para determinação do número de ocorrências do período “Safra”, obtido a partir de Regressões polinomiais do tipo linear e quadrática, tendo como base a variável independente “X” ocorrência de ferrugem asiática no período “Entressafra” com a variável independente “Y”, como as variáveis climáticas do período “Safra” e “Z”, a variável dependente, ocorrência de ferrugem asiática no período “Safra, para constante matemática diferente e igual a zero, para o Estado do Paraná..... 167

## ARTIGO E

- Tabela 1 –** Distribuição dos municípios com relato de ocorrência de ferrugem no CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM, nas safras 2004/2005 a 2014/2015, de acordo com sua macrorregião, para o Estado do Rio Grande do Sul, segundo BRASIL/INPE (2015) ..... 186
- Tabela 2 –** Coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e p-valor para as regressões polinomiais linear e quadrática encontradas no modelo tridimensional que relaciona a variável independente “X” ocorrência de ferrugem asiática no período “Entressafra” com a variável independente “Y”, como as variáveis climáticas do período “Safra” e seus efeitos sobre a ocorrência de ferrugem

asiática no período “Safr”, para constante matemática diferente e igual a zero, para o Estado do Rio Grande do Sul ..... 193

<b>Tabela 3 –</b>	Modelo matemático para determinação do número de ocorrências do período “Safr”, obtido a partir de Regressões polinomiais do tipo linear e quadrática, tendo como base a variável independente “X” ocorrência de ferrugem asiática no período “Entressafr” com a variável independente “Y”, como as variáveis climáticas do período “Safr” e “Z”, a variável dependente, ocorrência de ferrugem asiática no período “Safr, para constante matemática diferente e igual a zero, para o Estado do Rio Grande do Sul..... 194
-------------------	--

#### ARTIGO F

<b>Tabela 1 –</b>	Distribuição dos municípios com relato de ocorrência de ferrugem no CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM, nas safras 2004/2005 a 2014/2015, de acordo com sua região, para o Estado do Mato Grosso, segundo BRASIL/INPE (2015) ..... 212
-------------------	--

<b>Tabela 2 –</b>	Coefficiente de determinação ( $R^2$ ) e p-valor para as regressões polinomiais linear e quadrática encontradas no modelo tridimensional que relaciona a variável independente “X” ocorrência de ferrugem asiática no período “Entressafr” com a variável independente “Y”, como as variáveis climáticas do período “Safr” e seus efeitos sobre a ocorrência de ferrugem asiática no período “Safr”, para constante matemática diferente e igual a zero, para o Estado do Mato Grosso..... 222
-------------------	--

<b>Tabela 3 –</b>	Modelo matemático para determinação do número de ocorrências do período “Safr”, obtido a partir de Regressões polinomiais do tipo linear e quadrática, tendo como base a variável independente “X” ocorrência de ferrugem asiática no período “Entressafr” com a variável independente “Y”, como as variáveis climáticas do período “Safr” e “Z”, a variável dependente, ocorrência de ferrugem asiática no período “Safr, para constante matemática diferente e igual a zero, para o Estado do Mato Grosso..... 223
-------------------	--

## ESTUDO DE CASO

<b>Tabela 1 -</b>	Ocorrência de ferrugem asiática da soja nos Estados do Paraná, Rio Grande do Sul e Mato Grosso, durante os períodos de Entressafra e Safra, na safra corrente (2015/2016), obtidos no site do CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM, com respectivos valores de Precipitação média trimestral e anomalia média do SST Niño 3.4, no período safra.....	238
<b>Tabela 2 -</b>	Valores de ocorrência de ferrugem asiática da soja no período Safra 2015/2016, a partir de modelos matemáticos desenvolvidos para os Estados do Paraná, Rio Grande do Sul e Mato Grosso, onde a variável X representa o número de ocorrências no período Entressafra e Y as variáveis climáticas que tiveram melhor desempenho quanto a $R^2$ e p-valor.....	239

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	24
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	26
2.1	FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA .....	26
2.2	EPIDEMIOLOGIA .....	26
2.2.1	Condições de Favorabilidade para Formação de Pústulas e Esporos .....	26
2.2.2	Sobrevivência do Patógeno Como Parasita Obrigatório .....	28
2.2.3	Multiplicação do Patógeno em Cultivos Sucessivos – Ponte Verde .....	29
2.2.4	O Papel da Chuva no Desenvolvimento da Doença .....	31
2.3	APARECIMENTO DA DOENÇA NO BRASIL SAFRAS 2004/2005 A 2014/2015 .....	33
2.4	A INFLUÊNCIA DO ENOS NA VARIABILIDADE CLIMÁTICA .....	34
2.5	ÍNDICE PADRONIZADO DE PRECIPITAÇÃO (SPI) .....	36
2.6	MODELOS DE PREVISÃO DE RISCO DE EPIDEMIA .....	36
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	38
	<b>ARTIGO A: FENÔMENO ENOS, PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA, OCORRÊNCIA DE FERRUGEM ASIÁTICA NA ENTRESSAFRA E RELAÇÃO COM EPIDEMIAS DA DOENÇA NO ESTADO DO PARANÁ</b> .....	43
	RESUMO .....	43
	ABSTRACT .....	44
	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	45
	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	49
	DADOS METEOROLÓGICOS .....	49
	ESTADO DO PARANÁ .....	51
	OCORRÊNCIA DE SINTOMAS: CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM .....	53
	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	55
	PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA .....	55
	<b>CONCLUSÃO</b> .....	69
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	70

<b>ARTIGO B :</b>	<b>FENÔMENO ENOS, PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA, OCORRÊNCIA DE FERRUGEM ASIÁTICA NA ENTRESSAFRA E RELAÇÃO COM EPIDEMIAS DA DOENÇA NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL .....</b>	<b>75</b>
RESUMO	.....	75
ABSTRACT	.....	76
<b>INTRODUÇÃO</b>	.....	<b>77</b>
<b>MATERIAL E MÉTODOS</b>	.....	<b>81</b>
DADOS METEOROLÓGICOS	.....	81
ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL	.....	84
OCORRÊNCIA DE SINTOMAS: CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM	.....	85
<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	.....	<b>88</b>
PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA	.....	88
<b>CONCLUSÃO</b>	.....	<b>105</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	.....	<b>106</b>
<b>ARTIGO C:</b>	<b>FENÔMENO ENOS, PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA, OCORRÊNCIA DE FERRUGEM ASIÁTICA NA ENTRESSAFRA E RELAÇÃO COM EPIDEMIAS DA DOENÇA NO ESTADO DO MATO GROSSO.....</b>	<b>111</b>
RESUMO	.....	111
ABSTRACT	.....	112
<b>INTRODUÇÃO</b>	.....	<b>113</b>
<b>MATERIAL E MÉTODOS</b>	.....	<b>117</b>
DADOS METEOROLÓGICOS	.....	117
ESTADO DO MATO GROSSO	.....	120
OCORRÊNCIA DE SINTOMAS: CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM	.....	121
<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	.....	<b>123</b>
PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA	.....	123
<b>CONCLUSÃO</b>	.....	<b>140</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	.....	<b>141</b>

<b>ARTIGO D:    MODELO MATEMÁTICO PARA PREVISÃO DE EPIDEMIAS DE FERRUGEM ASIÁTICA A PARTIR DO FENÔMENO ENOS, PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA E OCORRÊNCIA DA DOENÇA NA ENTRESSAFRA PARA O ESTADO DO PARANÁ .....</b>	<b>146</b>
RESUMO .....	146
ABSTRACT .....	147
<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>148</b>
<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>152</b>
DADOS METEOROLÓGICOS .....	152
ESTADO DO PARANÁ.....	154
OCORRÊNCIA DE SINTOMAS: CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM.....	155
<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>158</b>
PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA .....	158
<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>168</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>169</b>
<b>ARTIGO E:    MODELO MATEMÁTICO PARA PREVISÃO DE EPIDEMIAS DE FERRUGEM ASIÁTICA A PARTIR DO FENÔMENO ENOS, PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA E OCORRÊNCIA DE FERRUGEM ASIÁTICA NA ENTRESSAFRA PARA O ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL .....</b>	<b>173</b>
RESUMO .....	173
ABSTRACT .....	174
<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>175</b>
<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>179</b>
DADOS METEOROLÓGICOS .....	179
ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL.....	182
OCORRÊNCIA DE SINTOMAS: CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM.....	183
<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>186</b>
PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA .....	186
<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>195</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>196</b>

<b>ARTIGO F:    MODELO MATEMÁTICO    PARA PREVISÃO DE EPIDEMIAS DE FERRUGEM ASIÁTICA A PARTIR DO FENÔMENO ENOS, PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA E OCORRÊNCIA DE FERRUGEM ASIÁTICA NA ENTRESSAFRA PARA O ESTADO DO MATO GROSSO.....</b>	<b>200</b>
RESUMO .....	200
ABSTRACT .....	201
<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>202</b>
<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>206</b>
DADOS METEOROLÓGICOS .....	206
ESTADO DO MATO GROSSO .....	209
OCORRÊNCIA DE SINTOMAS: CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM.....	210
<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>212</b>
PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA .....	212
<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>223</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>224</b>
<b>ESTUDO DE CASO: PREVISÃO DE EPIDEMIAS DE FERRUGEM ASIÁTICA A PARTIR DO FENÔMENO ENOS, PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA E OCORRÊNCIA DE FERRUGEM ASIÁTICA NA ENTRESSAFRA PARA OS ESTADOS DO PARANÁ, RIO GRANDE DO SUL E MATO GROSSO .....</b>	<b>228</b>
Resumo .....	228
ABSTRACT .....	229
<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>230</b>
<b>DESENVOLVIMENTO.....</b>	<b>233</b>
<b>QUESTÕES FINAIS .....</b>	<b>238</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>239</b>
<b>CONCLUSÕES FINAIS .....</b>	<b>241</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil cultiva aproximadamente 32 milhões de hectares de soja, com produção estimada de 96 milhões de toneladas. O Estado do Mato Grosso é o maior produtor brasileiro, com área de plantio de 9,0 milhões de hectares, em segundo lugar se destaca o Estado do Paraná, com 5,2 milhões de ha e em terceiro lugar o Estado do Rio Grande do Sul com 5,1 milhões de ha, previstos na safra 2014/2015.

Um dos entraves que dificultam a plena produtividade da cultura é o complexo de doenças e dentre elas, está a ferrugem asiática da soja, causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi* Syd. & P. Syd., que tem um grande potencial destrutivo da lavoura. Em condições favoráveis à doença, são relatadas perdas ao redor de 80% da produção.

Diversos autores têm confirmado a existência de alta correlação entre a severidade da epidemia com a ocorrência das primeiras chuvas e o aumento de sua intensidade. Tal vinculação à chuva, mais do que pela temperatura, se dá pelo fato de que o fungo consegue sobreviver e se reproduzir em uma larga amplitude térmica, onde a chuva propicia condições de molhamento mais prolongado, o que facilitaria a penetração do patógeno para o interior dos tecidos do hospedeiro

A chuva exerce grande influência sobre a epidemia de *P. pachyrhizi*, porém não são apenas as condições do tempo ou o ambiente que regulam as epidemias, pois o progresso da doença é fortemente influenciado pela quantidade de inóculo inicial que também explica a variação da severidade da doença em semeaduras antecipadas ou tardias.

A principal fonte conhecida da variabilidade climática interanual com atuação em todo o globo é o fenômeno chamado ENOS (El Niño Oscilação Sul), o qual provoca anomalias no escoamento atmosférico em escala global.

As anomalias climáticas extremas estão relacionadas com as fases quente (El Niño) e fria (La Niña) do ENOS. Este fenômeno tem origem no Oceano Pacífico Tropical e é resultado de uma interação oceano-atmosfera, em que ocorre uma variação da temperatura da superfície do mar (em inglês SST – Surface Sea Temperature), na parte central e junto à costa oeste da América do Sul (Niño 3, Niño 3.4 e Niño 4), em associação com os campos de pressão (referentes ao IOS – Índice de Oscilação Sul) afetando conseqüentemente o clima em diversas partes do mundo.

Os efeitos do ENOS no Brasil podem ser vistos na parte Norte da Região Nordeste e a região Sul. No sul do Brasil, a fase quente (El Niño) em geral está associada com excesso de chuva durante a primavera do primeiro ano e posteriormente o fim do outono e início do

inverno do segundo ano. Na fase fria (La Niña), a precipitação apresenta-se abaixo da normal na primavera e começo do verão.

O índice padronizado de precipitação (em inglês Standardized Precipitation Index – SPI) desenvolvido por McKee et al. (1993) é um quantificador de seca meteorológica que vem sendo utilizado em diversas partes do mundo, sendo capaz de monitorar este fenômeno climático em diversas escalas de tempo, reconhecendo diferentes tipos de seca em sua análise, utilizando apenas dados de precipitação pluviométrica. Buscou adaptar o SPI aos interesses agrometeorológicas, principalmente ligadas à condição de seca agrícola.

Um projeto que tornavam disponíveis as informações sobre a ocorrência de ferrugem asiática da soja em todo o território brasileiro, através de uma plataforma de dados, visível em *website*, foi idealizado e colocado em prática pelo Laboratório de Epidemiologia de Plantas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e o Grupo de Pesquisa Mosaico da Universidade de Passo Fundo – RS) responsável pela construção e manutenção do sistema, que foi denominado CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM. A EMBRAPA-SOJA, ficou responsável pela coordenação e o gerenciamento do conteúdo do website. A alimentação do sistema é feita por laboratórios e pesquisadores devidamente credenciados pelo consórcio.

Este trabalho tem por objetivo o desenvolvimento de modelos matemáticos que pudessem relacionar a variabilidade interanual da precipitação pluviométrica, a partir de valores de precipitação pluviométrica acumulada, índice padronizado de precipitação (SPI), índice de oscilação sul (IOS) e índice de Temperatura na Superfície do Mar (SST), com as ocorrências relatadas de ferrugem asiática da soja no período “Entressafra” e seus efeitos nas ocorrências na “Safra”, disponibilizados na plataforma do CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM, para os Estados do Paraná, Mato Grosso e Rio Grande do Sul.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA

O Brasil se destaca no cenário mundial como o segundo maior produtor mundial de soja, produzindo 68,7 milhões de toneladas do grão, numa área de 23,4 milhões de hectares na safra 2009/2010 e em 2010/2011 colhendo uma safra recorde de 74,99 milhões de hectares em 24,1 milhões de hectares (BRASIL, 2010b).

Neste levantamento, o Estado do Paraná, se destaca como o segundo maior estado produtor da união com área de plantio de 4,4 milhões de hectares na safra 2009/2010 e de 4,6 milhões de hectares na safra 2010/2011.

Um dos entraves que dificultam a plena produtividade da cultura é o complexo de doenças e dentre elas, está a ferrugem asiática da soja, causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi*, que tem um grande potencial destrutivo da lavoura. Em condições favoráveis à doença, são relatadas perdas ao redor de 80% da produção (YORINORI et al.; HARTMAN et al., 2005).

O fungo vem ocorrendo há décadas na Ásia oriental e na Austrália e a partir de 2001, foi encontrado em campos de soja do Paraguai e do Brasil. A rápida expansão e o montante de perdas conferem grande importância a esta doença (PIVONIA & YANG, 2004; YORINORI et al., 2005).

### 2.2 EPIDEMIOLOGIA

#### 2.2.1 Condições de Favorabilidade para Formação de Pústulas e Esporos

Após a queda de esporos viáveis na superfície das folhas da soja, a infecção e o desenvolvimento da epidemia subseqüentes são dependentes das condições ambientais. Geralmente, a infecção ocorre quando as folhas estão molhadas e as temperaturas entre 8 ° C e 28 ° C, com um ótimo de 16 ° C a 28 ° C. A 25 ° C, alguma infecção ocorre em apenas 6 horas de molhamento foliar, mas 12 horas são ótimas para a ocorrência da máxima germinação. Após a infecção, lesões e pústulas com esporos podem aparecer dentro de 7 ou 8 dias. Este ciclo de vida curto indica a velocidade com que ocorre a epidemia (MARCHETTI et al., 1975; KOCHMAN, 1979; MELCHING et al., 1989; Tan et al., 1994; PATIL et al., 1998; BONDE et al., 2007; RUPE & SCONYERS, 2008).

Após infecção e colonização dos órgãos da planta, o fungo passa para a fase reprodutiva, onde na face inferior da folha pode-se observar o aparecimento das urédias, que ao se romperem, liberam os uredósporos, que estão prontos para contaminarem a mesma área ou outras lavouras, dando início a novos ciclos (MARCHETTI et al., 1975; DEL PONTE, 2007).

Diferentes isolados de *P. pachyrizi* foram inoculados em plantas de soja, em casa de vegetação sob temperatura diurna entre 25-29°C e noturna entre 20-24°C. O número total de esporos coletados por lesão aos 39 dias após inoculação variou de acordo com o isolado de 2.028 a 6.600 (MELCHING et al., 1979).

Yeh et al. (1982), encontraram entre 1.823 a 2.386 a quantidade de uredósporos por urédia duas diferentes cultivares de soja submetidas a temperatura diurna de 24°C e noturna de 15°C, após 30 dias de inoculação, com uma média de 6,2 a 6,3 urédias por lesão. Melching et al (1989) verificaram que esta produção de urédia por lesão é variável de acordo com a faixa de temperatura em que as lesões são expostas. Para faixa de temperatura entre 10°C e 14°C, este número pode cair para 1,12 urédias/cm<sup>2</sup>.

Adicionando-se a este fato, em condições de temperatura ambiente mais baixa, Canteri et al. (2007a) verificaram a ocorrência de aumento do período latente da doença, favorecendo a diminuição da severidade, devido a um menor número de ciclos do patógeno.

A sobrevivência dos uredósporos no período de inverno pode ser comprovada por Park et al. (2008) em ensaio com uredósporos armazenados sob as condições do inverno do sudeste da Louisiana (E.U.A.), de 12°C, 14h diurno e 1°C, 10h noturno, e inoculados em folhas de soja por 14, 30, 44 e 60 dias nestas condições, produziram 16, 3, 1,5 e 0,4 pústulas por folha inoculada.

A afirmação de que a altas temperaturas, acima dos valores observados em estudos controlados (> 28°C) poderiam desfavorecer a doença em algumas regiões, deve ser examinada com cuidado, principalmente pelo fato de que a temperatura no dossel da cultura pode não refletir a mesma temperatura do ar medida a 1,5 metros acima do dossel (DEL PONTE, 2007).

Bergamin Filho (2006) relatou que a via anti-horária de infecção, relacionada com o crescimento da lesão a partir da lesão inicial é o principal componente da epidemiologia da ferrugem asiática, proporcionando uma contínua formação de novas urédias, mesmo em condições ambientais desfavoráveis.

Epidemias de ferrugem da soja podem progredir de baixos níveis detectáveis até o desfolhamento dentro de um mês. As infecções precoces ocorrem na parte inferior.

Geralmente, as lesões de ferrugem não são encontrados em soja até o florescimento, a menos que existam níveis elevado de inóculo no ambiente na fase vegetativa (RUPE & SCONYERS, 2008).

Isto pode ser devido à maior suscetibilidade das plantas à ferrugem quando o hospedeiro entra na fase reprodutiva, quando nas partes mais baixas da copa, os esporos estão mais protegidos contra a radiação ultra violeta, ou pode ser porque as condições na copa tornam-se mais úmidas, com o dossel fechado. Em qualquer caso, as lesões podem se formar em qualquer fase de crescimento, mas um grande aumento da doença não ocorre até o florescimento completo (RUPE & SCONYERS, 2008).

Isard et al. (2006) demonstraram a existência de sensibilidade dos uredósporos de *P. pachyrhizi* quando expostos à radiação solar, que pode reduzir a sua viabilidade e conseqüente movimentação de uma região para outra. Condições de tempo encoberto por nuvens, favorecem maior viabilidade do inóculo devido à menor ação da radiação solar sobre sua sobrevivência.

### 2.2.2 Sobrevivência do Patógeno Como Parasita Obrigatório.

*Phakopsora pachyrhizi* é considerado parasita obrigatório, sobrevivendo em outras plantas hospedeiras, plantas voluntárias de soja e lavouras de soja cultivadas na entressafra. O patógeno pode vir de regiões onde se encontra o hospedeiro, multiplicando-se pelo caminho, até chegar nas demais regiões produtoras isentas do patógeno (HENNEN, 1995; PIVONIA & YANG, 2004; TECNOLOGIAS, 2011).

O kudzu (*Pueraria lobata* L.) é um dos hospedeiros alternativos mais estudados, está presente no Brasil e da mesma forma como a planta voluntária de soja, pode multiplicar o patógeno antes do plantio comercial da soja.

Souza et al. (2006), em avaliação de plantas voluntárias encontradas entre junho de 2004 a dezembro de 2005, verificaram que baixas temperaturas não são fator limitante para a sobrevivência de *P. pachyrhizi* e que cultivos comerciais e soja voluntária poderiam representar a principais fontes de inóculo para a infecção de novos plantios.

Del Ponte (2006b) relatou que soja voluntária e plantas de kudzu infectadas com *P. pachyrhizi* parecem não contribuir para a severidade da doença. Esta constatação em kudzu foi feita por Christiano & Scherm (2007), onde relataram que no sudeste dos Estados Unidos,

esta planta morre durante o inverno e a retomada do seu crescimento vegetativo é verificada no início da primavera, antes que a soja seja plantada.

Para Christiano & Scherm (2007), o desenvolvimento da doença em kudzu é lento e entra em fase exponencial somente no final da safra de soja. Observaram que enquanto 25% das folhas de kudzu estavam infectadas com *P. pachyrhizi*, 65% das folhas de soja, na mesma época, estavam com a doença.

Os hospedeiros alternativos, soja voluntária e plantios de safrinha, embora difícil de ser quantificado na prática, mantêm vivo o patógeno no período de entressafra servindo de fonte precoce de inóculo para a safra normal, todavia, somente o fato de sua presença não significa alto risco de infecções (DEL PONTE & ESKER, 2007).

O controle mal feito da soja voluntária com o uso de herbicidas inadequados ou em sub-dosagem poderiam permitir o desenvolvimento destas plantas no período de entressafra e como invasoras nas culturas do milho safrinha, trigo ou nos plantas utilizadas como adubo verde de inverno.

O plantio de soja comercial considerado de alto risco para a produção de uredósporos de ferrugem asiática é realizado no início do período de outono, também chamada de soja safrinha. Sua colheita deve ser feita no máximo até 15/06 dependendo da região, conforme estabelecido na legislação que rege o período do vazio sanitário.

### 2.2.3 Multiplicação do Patógeno em Cultivos Sucessivos – Ponte Verde

Nas conclusões de Bergamin Filho & Amorim (1996), do ponto de vista fitossanitário, o encurtamento do intervalo entre culturas nas regiões temperadas é uma atitude imprópria, pois o aumento do inóculo inicial leva a altas taxas aparentes de infecção, ocasionando epidemias de graves proporções.

Bergamin Filho (2006) relatou que *P. pachyrhizi* em soja comporta-se como fungo de características de um patossistema tropical, onde a redução da quantidade de inóculo inicial seria uma estratégia eficiente para manejar adequadamente a doença.

Bergamin Filho & Amorim (1996) afirmam que o inóculo inicial de origem externa exerce papel maior na fitopatologia temperada e que não pode ser extrapolado para as condições dos trópicos e subtropicais, que se caracterizam por uma sobreposição de estações de cultivo, favorecendo convívio contínuo patógeno-hospedeiro.

Seixas & Godoy (2007), relatam que pesquisadores e técnicos chamavam a atenção para o risco de se cultivar soja durante o período de safrinha pelo fato de se estabelecer uma “ponte verde” que favorecesse a sobrevivência e multiplicação do fungo biotrófico. Além disso, plantas voluntárias oriundas de grãos caídos durante a colheita podem contribuir para a manutenção do fungo nas áreas de produção.

Esker et al. (2007), em análise de curvas de progresso da doença em ensaios brasileiros de plantios de 2002 a 2006, verificaram que o começo do aparecimento dos sintomas, era uma função da data de plantio.

Na tentativa de se buscar formas de fuga da epidemia de *P. pachyrhizi*, alguns autores recomendaram a adoção de plantio antecipado e utilização de variedades de ciclo precoce, o que implicaria na redução do número de aplicações de fungicida para o controle da doença (ESKER et al.; GODOY, 2007; RUPE & SCONYERS, 2008).

No entanto, Yorinori (2006) destacou que o cultivo contínuo da soja na entressafra e a presença permanente de plantas voluntárias, somadas à antecipação do plantio de verão, não deixaram intervalo sem ferrugem no campo, promovendo a cada ano uma antecipação no início da ocorrência da doença.

Buscando elucidar o avanço da epidemia e a importância da fonte de inóculo, Hartman (1995), do Centro Asiático de Desenvolvimento e Pesquisa Vegetal (AVRDC), informou que algumas questões teriam que ser aprofundadas com relação à epidemiologia da ferrugem asiática da soja, pois até aquele momento, não se conhecia de onde se originava o inóculo de estação para estação.

A resposta a esta indagação talvez esteja no fato de que em Taiwan, a soja é cultivada durante o ano todo e a ferrugem asiática ocorre em todas as estações, possibilitando a multiplicação constante do inóculo. As epidemias mais severas foram verificadas nos plantios da primavera e do outono (YANG et al., 1990; HARTMAN, 1995; PIVONIA & YANG, 2004).

No plantio de inverno, realizado em dezembro, em Taiwan, não se conseguiu verificar o desenvolvimento de ferrugem até o início de fevereiro, apesar de se verificar a presença de esporos acima do dossel da cultura (TSCHANZ et al., 1984)

Os experimentos com épocas de plantio e duas cultivares testadas por Yang et al. (1990), mostraram que o nível máximo de doença foi atingido nos plantios de primavera e outono do que no plantio de verão. A diferença, segundo os autores, pode ser resultado das diferentes respostas tanto da planta como do patógeno às condições observadas no verão,

como resposta da planta ao fotoperíodo e maiores temperaturas, dificultando o desenvolvimento da doença.

De acordo com BRASIL/EMBRAPA (2013), para reduzir o risco de danos à cultura, as estratégias de manejo recomendadas no Brasil para o controle de ferrugem asiática são a utilização de cultivares de ciclo precoce e sementeiras no início da época recomendada (início de outubro), para evitar a maior carga de esporos do fungo que irá iniciar a multiplicação nas primeiras sementeiras.

A adoção do vazio sanitário, período de ausência de plantas de soja vivas no campo, proposto pela EMBRAPA SOJA, é uma forma de se impedir a formação da ponte verde. Para o Estado do Paraná, este período vai de 15 de junho a 15 de setembro, sendo que o período normal de plantio de cultivares inicia-se em 05 de outubro. Os estados de MG, MT, MS, GO, SP, MA, TO, PR instituíram o vazio sanitário legalmente (SEIXAS & GODOY, 2007)

Brasil, Argentina e Paraguai são os principais produtores de soja da América Latina. O vazio sanitário estabelecido no Brasil, até o momento não foi adotado pelos demais países, existindo a possibilidade de movimentação de uredósporos provenientes tanto da Argentina como do Paraguai.

A Argentina por ter seus campos de produção de soja localizados nos paralelos mais ao sul, tem época de plantio diferenciada devido ao fato de que a temperatura baixa no outono/inverno acaba atuando como fator impeditivo para o plantio tanto de safrinha como de antecipação de plantio.

No caso do Paraguai, as áreas produtoras de soja estão localizadas na mesma latitude onde estão as lavouras do Estado do Paraná (Brasil), com condições climáticas semelhantes, separadas pelo rio Paraná, divisa Brasil/Paraguai. No Paraguai, o vazio sanitário não existia até a safra 2010/2011, devendo ser adotado para esta próxima safra, entre o final de maio e final de agosto.

## 2.2.4 O Papel da Chuva no Desenvolvimento da Doença

Há uma tendência entre diversos pesquisadores a relacionar o desenvolvimento da epidemia de ferrugem asiática da soja com a precipitação pluviométrica, uma vez que esta carrega os esporos que estão no ar para o interior do dossel, facilitando a disseminação do inóculo na lavoura.

Tal vinculação à chuva, mais do que pela temperatura, se dá pelo fato de que o fungo

consegue sobreviver e se reproduzir em uma larga amplitude térmica, onde a chuva propicia condições de molhamento mais prolongado, o que facilitaria a penetração do patógeno para o interior dos tecidos do hospedeiro (TSCHANZ et al., 1984; TAN et al. (1994); SINCLAIR & HARTMAN, 1995; DEL PONTE et al., 2006a; DEL PONTE, 2007; CANTERI et al., 2007(a); BARNES et al.; DEL PONTE & ESKER; LI et al.; TSUKAHARA et al., 2008; SCHMITZ & GRANT, 2009).

Relatos da ocorrência de ferrugem asiática ocorridas na China, de 1971 a 1980, na província de Zhejiang, indicaram que as epidemias mais severas ocorreram nos anos de 1973 e 1976, considerados mais chuvosos do que os demais períodos avaliados (BROMFIELD, 1984).

Tschanz et al. (1984) na comparação com dois anos de plantio de soja, safra 1979 e 1980 realizados em Taiwan, relataram que a precipitação teve influência significativa sobre o desenvolvimento da doença.

Tschanz & Shanmugasundaram (1985), avaliaram que a epidemia de *P. pachyrhizi* era dependente de vários fatores. Dois deles foram temperatura e duração do período de molhamento foliar. Outros fatores como a ocorrência da primeira chuva e a sua quantidade, tornaram-se responsáveis pelo desenvolvimento da doença.

Del Ponte et al. (2006a) em seus estudos com 34 campos experimentais no Brasil durante 3 épocas de plantio consecutivas, observaram haver uma forte correlação entre severidade final da doença com precipitação pluviométrica (acima de 1 mm), do que com as variáveis temperatura máxima e mínima.

Del Ponte (2006b) confirmou a importância da chuva no desenvolvimento da epidemia e a coloca num patamar de única variável preditora de níveis de severidade da doença no campo explicando em mais de 85% da variação da severidade máxima da ferrugem asiática, contribuindo para o prolongamento do período de molhamento foliar, redução de temperatura no interior do dossel e liberação de uredósporos das urédias. A temperatura ficou num patamar secundário.

A alta correlação entre chuva e severidade final de doença pode ser explicada pela característica incomum da *P. pachyrhizi*, não compartilhada com a maioria das outras ferrugens: uredósporos do fungo tendem a permanecer firmemente juntos, não sendo facilmente liberados pela ação do vento. As gotas de chuva liberam os esporos pelo efeito do “splash” originado pelo impacto das gotas sobre as folhas. Assim, a via anti-horária sempre supre a epidemia com urédias frescas, independentemente da temperatura, e a chuva, quando cai, encarrega-se de disseminar os esporos nelas produzidos (BERGAMIN FILHO, 2006).

Canteri et al. (2007b) e Del Ponte (2006b), relataram que até o momento a chuva exerce forte influência sobre a epidemia de *P. pachrhizi*, porém não é apenas o clima ou o ambiente que regulam as epidemias, pois o progresso da doença é fortemente influenciado pela quantidade do inóculo inicial que explica grande variação na severidade da doença em semeaduras antecipadas ou tardias.

Del Ponte (2006b) alertou para um papel da chuva que seria a dispersão da doença em macro escala, associada à prevalência e dispersão da doença na América do Sul. Analisando as detecções no Paraná e Rio Grande do sul verificou dispersão mais lenta da doença em anos mais secos do que em anos chuvosos, que resultaram em maior risco da doença.

### 2.3 APARECIMENTO DA DOENÇA NO BRASIL SAFRAS 2004/2005 A 2014/2015

De acordo com as informações da plataforma do CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM (BRASIL, 2011b), na safra 2009/2010, foram registrados 2.370 eventos ligados à constatação dos sintomas de ferrugem asiática no Brasil. Os primeiros sintomas foram verificados em plantas voluntárias (R7) no Estado do Tocantins a partir de 25/08, seguido do Estado do Mato Grosso do Sul (R1) em 19/09 e Paraná a partir de 27/09 (Vn), totalizando 265 casos apenas neste Estado. Cerca de 50% dos casos relatados pelo site foram feitos em campos do Estado do Paraná.

Na safra 2010/2011, foram registrados 707 eventos, com aparecimento de sintomas em plantas voluntárias foi verificado inicialmente no Estado de Goiás (R5), no dia 22/09, seguido de 03/11 no Estado do Rio Grande do Sul (R1) e 24/11 no Estado do Paraná (R2). Somente do Paraná foram registrados 291 casos. O aparecimento dos sintomas de ferrugem no Paraná foram mais tardios na safra 2010/2011 quando comparados com a safra 2009/2010 (BRASIL, 2011b).

De acordo com o levantamento feito pelo Consórcio Antiferrugem (BRASIL, 2010a), o número acumulado de ocorrências verificados na safra 2010/2011, foi similar ao ocorrido nas safras 2007/2008 e 2008/2009, que estavam sob a influência do fenômeno La Niña, caracterizado por ocasionar um período mais prolongado de seca na região sul do Brasil, enquanto a safra 2009/2010 teve comportamento semelhante ao ocorrido na safra 2006/2007, sob influência de El Niño, com maior distribuição de chuva nesta região. As diferenças nos padrões de chuva entre essas situações parecem ser determinante do início da dispersão regional das epidemias.

Em levantamento sobre a ferrugem asiática no Brasil na safra 2010/2011, o Consórcio antiferrugem (BRASIL, 2011b) antecipava que seria um ano de boa distribuição de chuva, com condições favoráveis ao estabelecimento de ferrugem, de acordo com o modelo climático com base na chuva, no entanto não foi detectada a doença em regiões de alto riscos climático, por diversos fatores não levados em conta nos mapas ou devido à ausência do inóculo nas regiões acompanhadas.

#### 2.4 A INFLUÊNCIA DO ENOS NA VARIABILIDADE CLIMÁTICA

A agricultura é uma das atividades do setor econômico de certas regiões que pode ser severamente afetada pelas variações do clima, ou seja, os elementos meteorológicos exercem influência direta sobre a produtividade agrícola de determinadas culturas. A não previsibilidade da variabilidade climática é uma das principais fontes de risco para as atividades agrícolas (HARDAKER et al., 1997). A maioria das dificuldades enfrentadas pelas safras brasileiras é devido às causas climáticas: secas, chuvas fortes e geada.

Podemos citar as culturas de verão (arroz, feijão, milho, soja, mandioca e outras plantadas na época de chuvas, de setembro em diante) em que as perdas por seca ou por chuvas fortes alcançam até 60% e 32%, respectivamente (ROSSETTI, 2002). Em alguns casos, o excesso de chuvas pode favorecer algumas culturas, como milho e soja, que representam 75% da produção de grãos da Região Sul do Brasil (BERLATO & FONTANA, 1997).

Atualmente, a principal fonte conhecida da variabilidade climática interanual com atuação em todo o globo é o fenômeno chamado El Niño Oscilação Sul (ENOS), o qual provoca sensíveis anomalias no escoamento atmosférico em escala global (KOUSKY et al., 1984; KOUSKY & CAVALCANTI, 1984). As anomalias climáticas extremas estão relacionadas com as fases quente (El Niño) e fria (La Niña) do ENOS. Este fenômeno tem origem no Oceano Pacífico Tropical e é resultado de uma interação oceano-atmosfera, em que ocorre uma variação da temperatura da superfície do mar (SST) na parte central e junto à costa oeste da América do Sul (Niño 3), em associação com os campos de pressão (referentes ao Índice de Oscilação Sul - IOS) afetando conseqüentemente o clima em diversas áreas do mundo (ROPELEWSKI & HALPERT, 1987; 1989).

Vários índices têm sido utilizados para medir a intensidade do ENOS, dentre eles tem-se o IOS que reflete a diferença de pressão atmosférica entre Taiti (17,5°S, 149,6°W) e Darwin (12,4°S, 130,9°E). É importante ressaltar que o IOS mede a intensidade da Oscilação

Sul (componente atmosférica) e a SST da região Niño 3 mede a intensidade do El Niño (componente oceânica). O El Niño consiste no aquecimento das águas oceânicas do Pacífico leste, enquanto que La Niña é o resfriamento anômalo das águas superficiais do Oceano Pacífico equatorial, central e oriental.

No caso do Brasil, as áreas mais afetadas são: a parte norte da Região Nordeste, o leste da Amazônia (na faixa tropical) e a Região Sul (na faixa extratropical), área compreendida em uma grande região localizada no sudeste da América do Sul. Devido à grande extensão de seu território, verificam-se conseqüências diferentes diante de determinadas fases do fenômeno.

No sul do Brasil, a fase quente (El Niño) em geral está associada com excesso de precipitação durante a primavera do primeiro ano e posteriormente o fim do outono e início do inverno do segundo ano, e na fase fria (La Niña) a precipitação apresenta-se abaixo da normal na primavera e começo do verão. Já na Região Sudeste não existe mudança no padrão característico de chuvas da região. Isto não quer dizer que a região 35 não seja afetada pelo fenômeno, pois apresenta aumento substancial da temperatura durante o inverno em anos de El Niño, tornando-o mais ameno. Porém, em anos de La Niña a área apresenta baixa previsibilidade. No nordeste, verifica-se o inverso em relação à Região Sul (RAO & HADA, 1990). Estudos complementares para o Brasil foram realizados, como Alves e Repelli (1992) e Uvo et al. (1994) para a Região Nordeste, e Grimm et al. (1996a, b), Fontana e Berlato (1997) e Diaz et al. (1998) para Região Sul. Estes estudos visam entender a relação entre os impactos intra-regionais das fases do ENOS sobre o regime de precipitação.

Evidências mostram que o ENOS influencia a produtividade de culturas através de alterações nos padrões de clima em algumas regiões. Os impactos deste fenômeno sobre a agricultura dependem da cultura e época do calendário agrícola, em que a precipitação apresenta-se acima ou abaixo da normal. Tendo em vista a possibilidade de quantificação da variabilidade climática associada às fases deste fenômeno, tornam-se necessárias aplicações dessas informações no manejo de culturas, visando reduzir riscos ou melhorar o aproveitamento de condições climáticas favoráveis. Existem diversos estudos relacionando as fases do fenômeno ENOS associadas à sua variabilidade climática e a produtividade das culturas, dentre os quais podem ser citados:

## 2.5 ÍNDICE PADRONIZADO DE PRECIPITAÇÃO (SPI)

O índice padronizado de precipitação (em inglês Standardized Precipitation Index – SPI) desenvolvido por McKee et al. (1993) é um quantificador de seca meteorológica que vem sendo utilizado em diversas partes do mundo, sendo capaz de monitorar este fenômeno climático em diversas escalas de tempo, reconhecendo diferentes tipos de seca em sua análise, utilizando apenas dados de precipitação pluviométrica.

De acordo com Blain & Brunini (2007b) e Teixeira et al. (2013), do ponto de vista meteorológico, o índice padronizado de precipitação (SPI) é uma das ferramentas mais adequadas para a quantificação da seca, sendo utilizado em diversas partes do mundo em programas e ações governamentais que visam realizar a análise de riscos e adotar medidas que diminuam o impacto socioeconômico causado pelas seca. O evento seca começa quando o SPI torna-se negativo e atinge o valor de -1 e termina quando este volta a apresentar valores positivos.

O SPI foi baseado na precipitação padronizada, que é simplesmente a diferença da precipitação atual com a precipitação média de um período específico, dividido pelo desvio padrão, onde a média e o desvio padrão são determinados a partir de histórico de dados, ajustados a uma distribuição gama incompleta.

Com base neste pressuposto, Blain (2011), em seu trabalho buscou adaptar o índice padronizado de precipitação (SPI) aos interesses agrometeorológicos, principalmente ligados à condição de seca agrícola, onde o período mínimo para a ocorrência deste evento seria de 10 dias déficit de precipitação. O pesquisador avaliou que o parâmetro balanço hídrico, caracterizado pela diferença entre a precipitação pluvial (P) e a evapotranspiração potencial (ETP), como importante ferramenta para o monitoramento de seca, proposto pelo modelo SPI, voltado aos interesses agrícolas.

## 2.6 MODELOS DE PREVISÃO DE RISCO DE EPIDEMIA

No Brasil as plataformas computacionais desenvolvidas com a finalidade de se mapear riscos de epidemias estão baseadas em fatores meteorológicos como umidade relativa acima de 90%, temperatura do ar, duração do período de molhamento (CANTERI et al., 2007b; REIS, 2004), visando definição de mapas de riscos climáticos e alertar para a necessidade de aplicação de fungicidas na lavoura.

Del Ponte & Esker (2007) concluíram que embora se disponha de modelos de previsão, ainda não se pode dispensar as atividades de monitoramento da dispersão da doença e divulgação de focos, ou mesmo da presença do inóculo no local, para avaliação em tempo real da doença.

O modelos atuais de previsão têm uma limitada capacidade de estimar corretamente a presença e a concentração do inóculo que irá iniciar as epidemias (DEL PONTE & ESKER, 2007).

Reis (2009) relatou que poucos modelos de previsão baseiam-se no monitoramento do inóculo relacionando-o com o início do desenvolvimento da doença por serem muito laboriosos. A maioria dos sistemas disponíveis tem como base os requerimentos climáticos para a multiplicação do inóculo e para a infecção.

Diante disso os modelos de previsão assumem que o inóculo está presente no ambiente, podendo, devido a este fato, levar a falhas na emissão de aviso de risco da doença (REIS & CASA, 2009).

Canteri et al. (2005) avaliaram que o fungo pode ser eficientemente controlado por fungicidas desde que estes sejam aplicados no momento certo. Algumas áreas têm requerido duas ou mais aplicações, outras apenas uma. Um sistema de mapeamento de risco climático para doença de planta foi desenvolvido para indicar risco de infecção para diferentes regiões do Paraná, e indicou que as regiões oeste e noroeste têm os mais baixos riscos de desenvolvimento da doença, estando as regiões central e sul como as de maior risco.

## REFERÊNCIAS

- BERGAMIN FILHO, A. Epidemiologia comparativa: ferrugem da soja e outras doenças. In: Zambolin, L. (Org.) **Ferrugem Asiática da Soja**, Visconde do Rio Branco: Suprema Gráfica e Editora. 2006. pp.15-35.
- BERLATO, M.A.; FARENZENA, H.; FONTANA, D.C. Associação entre El Niño Oscilação Sul e a produtividade do milho no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.5, p.423-432, 2005.
- BERLATO, M.A.; FONTANA, D.C. Variabilidade interanual da precipitação e variabilidade dos rendimentos de soja no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.7, n.1, p.119-125, 1999.
- BLAIN, G.C. Aplicação do conceito do índice padronizado de precipitação à serie decenal da diferença entre precipitação pluvial e evapotranspiração potencial. *Bragantia*. Campinas, v.70, n.1, p.234-245, 2011.
- BLAIN, G.C.; BRUNINI, O. Quantificação da seca agrícola pelo índice padronizado de evapotranspiração real (IPER) no Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v.65, n.3, p.517-525, 2006.
- BLAIN, G.C.; BRUNINI, O. Análise da escala temporal de monitoramento das secas agrícolas e meteorológicas no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.22, n.2, 255-261, 2007.
- BONDE, M.R.; BERNER, D.K.; NESTER, S.E.; FREDERICK, R.D. Effects of temperature on urediniospore germination germ tube growth, and initiation of infection in soybean by *Phakopsora* isolates. **Phytopathology**, v.97, n.8, p.997-1003, 2007.
- BRASIL/CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Terceiro Levantamento. Brasília, v2, n.3, p.1-100, 2014.
- BRASIL/CONSORCIO ANTIFERRUGEM. **Consórcio antiferrugem**. Disponível em: <http://www.consorcioantiferrugem.net>, acessado em 10/08/2015.
- BRASIL/INPE Informações sobre produtos de monitoramento climático mensal e sazonal das chuvas no Brasil na página do CPTEC/INPE. CPTEC/INPE. Cachoeira Paulista. 2014. Disponível em: [http://clima1.cptec.inpe.br/~rclima1/pdf/Documento\\_produto\\_indice.pdf](http://clima1.cptec.inpe.br/~rclima1/pdf/Documento_produto_indice.pdf), acessado em 08/08/2015.
- BROMFIELD, K. **Soybean rust**. Monografia nº 11. The American Phytopathological Society. St. Paul, 65p., 1984.

- CANTERI(a), M.G.; DEL PONTE, E.M.; GODOY, C.V.; TSUKAHARA, R.Y. Emprego de tecnologia da informação para previsão de epidemias e zoneamento agroclimático aplicáveis no controle de doenças de plantas. **Summa Phytopathologica**, v.23, p.121-124, 2007
- CANTERI(b), M.G.; TSUKAHARA, R.Y.; SILVA, O.C. Monitoramento das variáveis ambientais para controle da ferrugem asiática da soja. In: XL Congresso Brasileiro de Fitopatologia, 2007, Maringá. **Fitopatologia Brasileira**. Brasília : SBF, 2007. v. 32. p. 65-66.
- DEL PONTE(a), E.M.; GODOY, C.V.; LI, X.; YANG, X.B. Predicting severity of asian soybean rust epidemics with empirical rainfall models. **Phytopathology**, v.96, n.7, p.797-803, 2006.
- DEL PONTE(b), E.M. Retrospectiva e tendências em modelagem matemática e previsão de ferrugem asiática. **Revista Plantio Direto**, p.21-30, nov/dez 2006
- DEL PONTE, E.M.; ESKER, P.D. Considerações epidemiológicas na avaliação de risco e manejo da ferrugem asiática da soja. In: XL Congresso Brasileiro de Fitopatologia, 2007, Maringá. **Fitopatologia Brasileira**, 2007. v. 32. p. S58-S60.
- DIAZ, A.F.; STUDZINSKI, C.D. MECHOSO, C.R. Relationships between precipitation anomalies in Uruguay and Southern. **Journal of Climate**, v.11, p.251-271, 1998.
- DUFAULT, N.S.; ISARD, S.A.; MAROIS, J.J.; WRIGHT, D.L. Removal of wet deposited *Phakopsora pachyrhizi* urediniospores from soybean leaves by subsequent rainfall. **Plant Disease**, St. Paul, v. 94, n. 11, p. 1336-1340, 2010.
- EUA/NOAA. National Oceanic Atmospheric Administration. Disponível em <<http://www.cpc.ncep.noaa.gov>>, acessado em 10/08/2015.
- FERREIRA, D.B. Relações entre a variabilidade da precipitação e a produtividade agrícola de soja e milho nas regiões sul e sudeste do Brasil. Dissertação. INPE. São José dos Campos, 2005.
- FIALLOS, F.R.G. A ferrugem asiática da soja causada por *Phakopsora pachyrhizi* Sidow e Sidow. **Ciencia y Tecnología**, v.4, n.2, p.45-60, 2011.
- FONTANA, D.C.; BERLATO, M.A. Relação entre o El Niño Oscilação Sul (ENOS), precipitação e rendimento de milho no Estado do Rio Grande do Sul. Pesquisa Agropecuária Gaúcha, Porto Alegre, v.2, n.1, p.39-45, 1996.
- HARDAKER, J.B.; HUIRNE, R.B.M.; ANDERSON, J.R. **Coping with risk in agriculture**. Oxon: CAB International, 1997. p.274.
- HARTMAN, G.L.; MILES, M.R.; FREDERICK, R.D. Breeding for resistance to soybean rust. **Plant Disease**, v.89, n.6, p.664-666, 2005

- HENNEN, J.F. The taxonomy of the soybean rusts. P.29-32. In: SINCLAIR, J.B.; HARTMAN, G.L.(eds). **Proceedings of the rust workshop**, 9-10 August, 1995
- KOCHMAN, J.K. The effect of temperature on development of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*). **Australian Journal of Agricultural Research**, v.30, n.2, p.273-277, 1979.
- KOUSKY, V.E.; CAVALCANTI, I.F.A. Eventos Oscilação Sul/El Niño. Características, evolução e anomalias de precipitação. **Ciência e Cultura**, v.36, n.11, p.1888-1899, 1984.
- KOUSKY, V.E.; KAYANO, M.T.; CAVALCANTI, I. F. A. A review of the southern oscillation oceanic atmospheric circulation changes and related rainfall anomalies. **Tellus** , v.36, p.490-504, 1984.
- FIALLOS,
- LI, X.; YANG, X.B.; MO, J.Y; GUO; T.X. Estimation of soybean rust uredospore terminal velocity, dry deposition, and the wet depositon associated with rainfall. **European Journal of Plant Pathology**, v.123, p.377-386, set 2008.
- MARCHETTI, M.A.; UECKER, F.A.; BROMFIELD, K.R. Uredial development of *Phakopsora pachyrhizi* in soybeans. **Phytopathology**, v.65, p.822-823, julho 1975.
- McKEE, T.B.; DOESKEN, N.; KLEIST, J. The relationship of drought frequency and duration to time scales. Eight Conference on Applied Climatolgy. Anaheim, California. Jan, 1993.
- MEGETO, G.A.S.; OLIVEIRA, S.R.M.; DEL PONTE, E.M.; MEIRA, C.A.A. Árvore de decisão par classificação de ocorrências de ferrugem asiática em lavouras comerciais com base em variáveis meteorológicas. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v.34, n.3, p.590-599, 2014.
- MELCHING, J.S.; DOWLER, W.M.; KOOGLE, D.L.; POYER, M.H. Effects of duration, frequency and temperature of leaf wetness periods on soybean rust. **Plant Disease**, v.73, p.117-122, fevereiro 1989.
- MINCHIO, C. A. Determinação da provável origem do inóculo de *Phakopsora pachyrhizi* e interação entre estágio fenológico, favorabilidade ambiental e presença do inóculo para controle da doença. **Dissertação de Mestrado em Agronomia**. Universidade Estadual de Londrina, Londrina, ,2011, 116p.
- PATIL, V.S.; WUIKE, R.V.; CHIRAME, B.B.; THAKARE, C.S. Viability and survival of uredospores of *Phakosora pachyrhizi* SYD in plant debries under different storage conditions. **Journal of Soils and Crops**, v.8, n.1, p.16-19, junho 1998
- PIVONIA, S. YANG, X.B. Assessment of the potential year-round establishment of soybean rust throught the world. **Plant Disease**, v. 88, p. 523-529, mai 2004.

- RAO, V.B.; HADA, K. Characteristics of rainfall over Brazil: annual variations and connections with the Southern Oscillation. **Theoretical Applied Climatology**, v.42, p.81-91, 1990.
- ROPELEWSKI, C.F.; HALPERT, M.S. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño / Southern Oscillation. **Monthly Weather Review**, v.115, p. 1606-1626, 1987.
- ROPELEWSKI, C.F.; HALPERT, M.S. Precipitation patterns associated with the high index phase of the southern oscillation. **Journal of Climate**, v. 4, p. 268-284, 1989.
- RUPE, J.; SCONYERS, L. Soybean rust. The Plant Health Instructor. DOI: 10.1094/PHI-I-2008-0401-01 2008. Disponível em:  
<http://www.apsnet.org/idcenter/intropp/lessons/fungi/Basidiomycetes/Pages/SoybeanRust.aspx>, acessado em 12/06/2011.
- SCHMITZ, H.F.; GRANT, R.H. Precipitation and dew in a soybean canopy: spatial variations in leaf wetness and implications for *Phakopsora pachyrhizi* infection. **Agricultural and forest meteorology**, v.149, p.1621-1627, março, 2009
- SINCLAIR, J.B.; HARTMAN, G.L. **Proceedings of the soybean rust workshop**. National Soybean Research Laboratory. University of Illinois of Urbana Champaign, n.1, 9-11 agosto, 1995
- TAN, Y.J.; YU, Z.L.; LIU, J.L. Studies on the epidemic regulation and control of soybean rust caused by *Phakopsora pachyrhizi* Sydow. Urbana-Champaign: University of Illinois, 1983. p.169-174. (INTSOY Series).
- TEIXEIRA, C.F.A.; DAMÉ, R.C.F.; BACELAR, L.C.S.; SILVA, G.M.; COUTO, R.S. Intensidade da seca utilizando índices de precipitação. **Revista Ambiente & Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v.8, n.3, 2013.
- TSCHANZ, A.T.; WANG, T.C.; TSAI, B.Y. Recent advances in soybean rust research. In: SHANMUGASUNDARAM, S.; SULZBERGER, E.W.; MCLEAN, B.I. **Soybean in tropical and subtropical cropping system**. Asian vegetable research and development center, p.237-245, 1984
- TSCHANZ, A.T.; SHANMUGASUNDARAM, S. Soybean rust. In: World soybean research conference III; Proceedings./ ed. by Shibles, R.; Boulder, CO : Westview Press. p.562-567. ref. (Text in En) (AVRDC/SP) (AVRDC Staff Publication) (SB205.S7W6 1985). Disponível em: <<http://203.64.245.61/pub-5.htm>>, acessado em 12/06/2011.

TSUKAHARA, R.Y.; HIKISHIMA, M.; CANTERI, M.G. Relações entre o clima e o progresso da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) em duas micro-regiões do Estado do Paraná. **Semina: Ciências Agrárias**, v.29,n.1, p.47-52, jan 2008

YORINORI, J.T.; PAIVA, W.M.; FREDERICK, R.D.; COSTAMILAN, L.M.; BERTAGNOLLI, P.F. Epidemics of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in Brazil and Paraguay from 2001 to 2003. **Plant Disease**, v.89, n.6, p. 675-677, junho 2005.

**ARTIGO A: FENÔMENO ENOS, PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA,  
OCORRÊNCIA DE FERRUGEM ASIÁTICA NA ENTRESSAFRA E RELAÇÃO  
COM EPIDEMIAS DA DOENÇA NO ESTADO DO PARANÁ.**

*ENSO phenomenon, rainfall, occurrence of Asian soybean rust in the off season and relation of outbreaks of the disease in Paraná State.*

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi estudar a influência da variabilidade da precipitação na evolução da epidemia de ferrugem asiática da soja no decorrer de 11 safras agrícolas, em 6 regiões de abrangência do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), para o Estado do Paraná. Foram feitas análises de regressão polinomial linear e quadrática para a obtenção da correlação entre as variáveis climáticas precipitação pluviométrica, índice padronizado de precipitação (SPI-3), índice de Oscilação Sul (IOS) e Temperatura na Superfície do Mar (SST Niño 3.4), no Oceano Pacífico Tropical, com a ocorrência de sintomas de ferrugem relatados no *site* do Consórcio Antiferrugem, entre as regiões, nas safras e nos trimestres de cada safra. Regressões foram feitas para se estimar a influência das ocorrências verificadas no período “Entressafra” sobre as ocorrências da “Safra”. Os índices que melhor explicaram a variação das ocorrências da doença são o SST Niño 3.4 e SPI-3, tanto nos períodos “Ano Todo” como “Safra”, menos na “Entressafra”, com coeficientes de determinação ( $R^2$ ) variando de 0,96 a 0,99 e 0,78 a 0,86, respectivamente. As ocorrências da “Safra” e “Ano Todo” têm relação com as ocorrências da “Entressafra”, com  $R^2$  entre 0,83 e 0,87, respectivamente, indicando maior atenção sobre a ocorrência de ferrugem da “Entressafra” que poderão influenciar as ocorrências da “Safra”.

**Palavras-chave:** Chuva, epidemiologia, elementos meteorológicos, *Phakopsora pachyrhizi*, previsão.

## ABSTRACT

The objective of this study was to investigate the influence of variability of rainfall in the evolution of soybean rust epidemic in the course of 11 agricultural crops in 6 regions of coverage of the National Institute for Space Research (INPE) for the State of Paraná. We made of linear and quadratic polynomial regression analyzes to obtain the correlation between climate variables rainfall, standardized index of precipitation (SPI-3), Southern Oscillation Index (IOS-3) and Sea Surface Temperature (SST Niño 3.4), the Tropical Pacific Ocean, with the occurrences rust symptoms reported in the Anti-rust Consortium site, between regions, and vintages in the quarter of each harvest. Regressions were performed to estimate the influence of the events that occur in the period “off season” about the events of the “harvest”. The index that best explains the variation of disease occurrences are the SST Niño 3.4 and the SPI-3, both in harvest periods as in every year period, less in the off season, with correlation coefficients ranging ( $R^2$ ) from 0.96 to 0.99 and 0.78 to 0.86, respectively. The occurrences of “harvest” and “every year” periods are related to the number of “off-season” occurrences, with  $R^2$  between 0.83 and 0.87, respectively, indicating greater attention on the occurrence of rust in the “off season” occurrences forecast in the “harvest”.

**Key words:** Rainfall, epidemiology, meteorological elements, *Phakopsora pachyrhizi*, prediction.

## INTRODUÇÃO

O Brasil cultiva aproximadamente 32 milhões de hectares de soja, com produção estimada de 96 milhões de toneladas (BRASIL/CONAB, 2014). O Estado do Paraná se destaca como o segundo maior produtor de soja do Brasil, com produção em torno de 17 milhões de toneladas do grão, previstos na safra 2014/2015 (SEAB, 2015).

Um dos entraves que dificultam a plena produtividade da cultura é o complexo de doenças e dentre elas, está a ferrugem asiática da soja, causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi* Syd. & P. Syd., que tem um grande potencial destrutivo da lavoura. Em condições favoráveis à doença, são relatadas perdas ao redor de 80% da produção (YORINORI et al.; HARTMAN et al., 2005).

*Phakopsora pachyrhizi* é considerado parasita obrigatório, sobrevivendo em outras plantas hospedeiras, plantas voluntárias de soja e lavouras de soja cultivadas na entressafra. O patógeno pode vir de regiões onde se encontra o hospedeiro, multiplicando-se pelo caminho, até chegar nas demais regiões produtoras ainda não infectadas (HENNEN, 1995; PIVONIA & YANG, 2004).

A epidemia do fungo é favorecida por condições de temperatura que varia de 16 a 28 °C, com ótimo de 25 °C e com duração de molhamento foliar ótima de 12 horas. Após a infecção, lesões e pústulas com esporos podem aparecer dentro de 7 ou 8 dias (MARCHETTI et al., 1975; KOCHMAN, 1979; MELCHING et al., 1989; TAN et al., 1983; PATIL et al. 1998; BONDE et al., 2007; RUPE & SCONYERS, 2008).

Diversos autores têm confirmado a existência de alta correlação entre a severidade da epidemia com a ocorrência das primeiras chuvas e o aumento de sua intensidade (BROMFIELD, 1984; TSCHANZ et al.1984; TSCHANZ & SHANMUGASUNDARAM, 1985; BERGAMIN FILHO, 2006; DEL PONTE et al., 2006a; MEGETO et al., 2014).

Tal vinculação à precipitação mais do que pela temperatura, se dá pelo fato de que o fungo consegue sobreviver e se reproduzir em uma larga amplitude térmica, onde a chuva propicia condições de molhamento mais prolongado, o que facilitaria a penetração do patógeno para o interior dos tecidos do hospedeiro (TSCHANZ et al., 1984; TAN et al., 1994; SINCLAIR & HARTMAN, 1995; DEL PONTE et al., 2006a; DEL PONTE, 2007; CANTERI et al. 2007a; BARNES et al.; DEL PONTE & ESKER; LI et al.; TSUKAHARA et al., 2008; SCHMITZ & GRANT, 2009).

Del Ponte (2006b) confirmou a importância da chuva no desenvolvimento da epidemia e a coloca num patamar de única variável preditora de níveis de severidade da doença no campo explicando em mais de 85 % da variação da severidade máxima.

A chuva exerce grande influência sobre a epidemia de *P. pachyrhizi*, porém não são apenas as condições do tempo ou o ambiente que regulam as epidemias, pois o progresso da doença é fortemente influenciado pela quantidade de inóculo inicial que também explica a variação da severidade da doença em semeaduras antecipadas ou tardias (CANTERI et al., 2007b; DEL PONTE, 2006b; MINCHIO, 2011).

Em revisão sobre previsão de risco da ferrugem asiática da soja, constatou-se ser a chuva responsável pela dispersão da doença em macro escala, associada à prevalência e dispersão da doença na América do Sul. Analisando as detecções no Paraná e Rio Grande do Sul, verificou-se dispersão mais lenta da doença em anos mais secos do que em anos chuvosos, que resultaram em maior risco da doença (DEL PONTE, 2006b).

Por outro lado, uma precipitação pluviométrica de maior intensidade (entre 45 a 85 mm.h<sup>-1</sup>) influenciou positivamente na remoção de esporos de *Phakopsora pachyrhizi* depositados sobre as folhas, que indicariam um possível efeito negativo da chuva (DUFAULT et al, 2010).

Megeto et al. (2014) em estudo visando modelar a influência de elementos meteorológicos sobre o número de ocorrências de ferrugem asiática de soja, obtidos no site do CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM, utilizaram a técnica da indução de árvores de decisão, na qual verificaram que os valores encontrados indicaram que para menores quantidades de chuva, tanto em número de dias com precipitação acima de 1mm, quanto para maior volume de chuva em um único dia, houve maior ocorrência da doença.

A principal fonte conhecida da variabilidade climática interanual com atuação em todo o globo é o fenômeno chamado El Niño Oscilação Sul (ENOS), o qual provoca anomalias no escoamento atmosférico em escala global (KOUSKY et al., 1984; KOUSKY & CAVALCANTI, 1984).

As anomalias climáticas extremas estão relacionadas com as fases quente (El Niño) e fria (La Niña) do ENOS. Este fenômeno tem origem no Oceano Pacífico Tropical e é resultado de uma interação oceano-atmosfera, em que ocorre uma variação da temperatura da superfície do mar (em inglês SST – Surface Sea Temperature), na parte central e junto à costa oeste da América do Sul (Niño 3, Niño 3.4 e Niño 4), em associação com os campos de pressão (referentes ao IOS – Índice de Oscilação Sul) afetando conseqüentemente o clima em diversas partes do mundo (ROPELEWSKI e HALPERT, 1987, 1989).

Vários índices têm sido utilizados para medir a intensidade do ENOS, dentre eles o IOS, que reflete a diferença de pressão atmosférica entre Taiti (17,5 °S – 149,6 °W) e Darwin (12,4 °S – 130,9 °E), localizados na Austrália. O IOS mede a intensidade da Oscilação Sul (componente atmosférico), na região Niño 3 e a SST mede a intensidade do El Niño (componente oceânica).

Os efeitos do ENOS no Brasil podem ser vistos na parte Norte da Região Nordeste e na região Sul. No sul do Brasil, a fase quente (El Niño) em geral está associada com excesso de chuva durante a primavera do primeiro ano e posteriormente o fim do outono e início do inverno do segundo ano. Na fase fria (La Niña), a precipitação apresenta-se abaixo da normal na primavera e começo do verão (BERLATO et al., 2005).

Vários estudos relacionam os impactos intra-regionais das fases ENOS sobre o regime de precipitação e seus efeitos sobre a variabilidade climática e a produtividade das culturas (FONTANA & BERLATO, 1996; RAO et al., 1990, 1997, DIAZ et al., 1998).

O índice padronizado de precipitação (em inglês Standardized Precipitation Index – SPI) desenvolvido por McKee et al. (1993) é um quantificador de seca meteorológica que vem sendo utilizado em diversas partes do mundo, sendo capaz de monitorar este fenômeno climático em diversas escalas de tempo, reconhecendo diferentes tipos de seca em sua análise, utilizando apenas dados de precipitação pluviométrica.

De acordo com Blain & Brunini (2007b) e Teixeira et al. (2013), do ponto de vista meteorológico, o índice padronizado de precipitação (SPI) é uma das ferramentas mais adequadas para a quantificação da seca, sendo utilizado em diversas partes do mundo em programas e ações governamentais que visam realizar a análise de riscos e adotar medidas que diminuam o impacto socioeconômico causado pela seca. O evento seca começa quando o SPI torna-se negativo e atinge o valor de -1 e termina quando este volta a apresentar valores positivos.

O SPI foi baseado na precipitação padronizada, que é simplesmente a diferença da precipitação atual com a precipitação média de um período específico, dividido pelo desvio padrão, onde a média e o desvio padrão são determinados a partir de histórico de dados, ajustados a uma distribuição gama incompleta.

Com base neste pressuposto, Blain (2011), em seu trabalho buscou adaptar SPI aos interesses agrometeorológicas, principalmente ligadas à condição de seca agrícola, onde o período mínimo para a ocorrência deste evento seria de 10 dias déficit de precipitação. O pesquisador avaliou que o parâmetro balanço hídrico, caracterizado pela diferença entre a

precipitação pluvial (P) e a evapotranspiração potencial (ETP), como importante ferramenta para o monitoramento de seca, proposto pelo modelo SPI, voltado aos interesses agrícolas.

Um projeto que tornavam disponíveis as informações sobre a ocorrência de ferrugem asiática da soja em todo o território brasileiro, através de uma plataforma de dados, visível em *website*, foi idealizado e colocado em prática pelo Laboratório de Epidemiologia de Plantas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e o Grupo de Pesquisa Mosaico da Universidade de Passo Fundo – RS, responsável pela construção e manutenção do sistema, que foi denominado CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM. A EMBRAPA-SOJA, ficou responsável pela coordenação e o gerenciamento do conteúdo do website. A alimentação do sistema é feita por laboratórios e pesquisadores devidamente credenciados pelo consórcio (BRASIL/CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM, 2015).

As informações geradas pela plataforma do CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM, registraram variação anual do número de eventos ligados à constatação dos sintomas de ferrugem asiática no Brasil. Por exemplo, na safra 2009/2010, foram registrados 2.370 eventos enquanto na safra 2010/2011, foram registrados 707.

Apesar de ocorrerem variações anuais de relatos, que podem estar relacionadas desde a falta de recursos para se ir a campo para obter informações até o comodismo dos técnicos, observou-se o interesse de diversas instituições na divulgação dos dados, onde os mesmos serviram de base para o trabalho de Megeto et al. (2014).

Este trabalho tem por objetivo relacionar a variabilidade interanual da precipitação pluviométrica, a partir de valores de precipitação pluviométrica acumulada, índice padronizado de precipitação (SPI), índice de oscilação sul (IOS) e índice de Temperatura na Superfície do Mar (SST), com as ocorrências da “entressafra” e seus efeitos sobre as ocorrências do período “Safra”, relatadas de ferrugem asiática da soja, disponibilizados na plataforma do CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM, para o Estado do Paraná.

## MATERIAL E MÉTODOS

### DADOS METEOROLÓGICOS

Os dados utilizados de IOS, da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) encontram-se disponíveis na internet, <<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/>>. Os dados lá disponíveis estão na escala temporal mensal e trimestral e foram calculados utilizando anomalias normalizadas das pressões atmosféricas na superfície do mar em Darwin e Taiti.

Para o estudo da SST no número de ocorrências de ferrugem asiática, foi considerada uma região sobre o Oceano Pacífico Tropical, definida como Niño 3.4, compreendida entre as latitudes de 5° N a 5° S e longitudes de 170° W a 120° W para o acompanhamento das fases do ciclo ENOS, para a qual estão disponíveis os índices de anomalias trimestrais no site do NOAA.

As regiões Niño 3.4 e Niño 4 abrangem a área na qual ligeiros aumentos ou diminuições na SST podem ter um grande impacto onde a convecção é encontrada, no Pacífico ocidental e central e são as áreas-chave para o monitoramento e previsão de eventos ENOS. Os dados de SST Niño 3.4 em escala temporal trimestral foram obtidos diretamente no site do NOAA (EUA/NOAA, 2015)

O cálculo do SPI envolve o ajuste da série histórica de precipitação a uma distribuição de probabilidade Gama, seguido de transformação (mapeamento) do percentil correspondente ao valor de precipitação acumulada observada em anomalia padronizada de uma distribuição normal (Gaussiana) com média igual a zero e desvio padrão igual a um.

O SPI é determinado a partir das funções de densidade de probabilidade que descrevem as séries históricas de precipitação nas diferentes escalas de tempo utilizadas (1 a 60 meses). Foram consideradas para fins de ajuste, as distribuições normal e gama2. Conhecida (ajustada) a função de distribuição de probabilidade acumulada, a chance de uma dada quantidade de precipitação observada é obtida e o SPI é computado usando a distribuição inversa (McKEE et al., 1995). No caso das precipitações acumuladas num dado intervalo de tempo (1, 3, 6, 9, 12, 48 e 60 meses) terem uma distribuição normal, o SPI é simplesmente a variável reduzida da distribuição normal  $z_i$ :

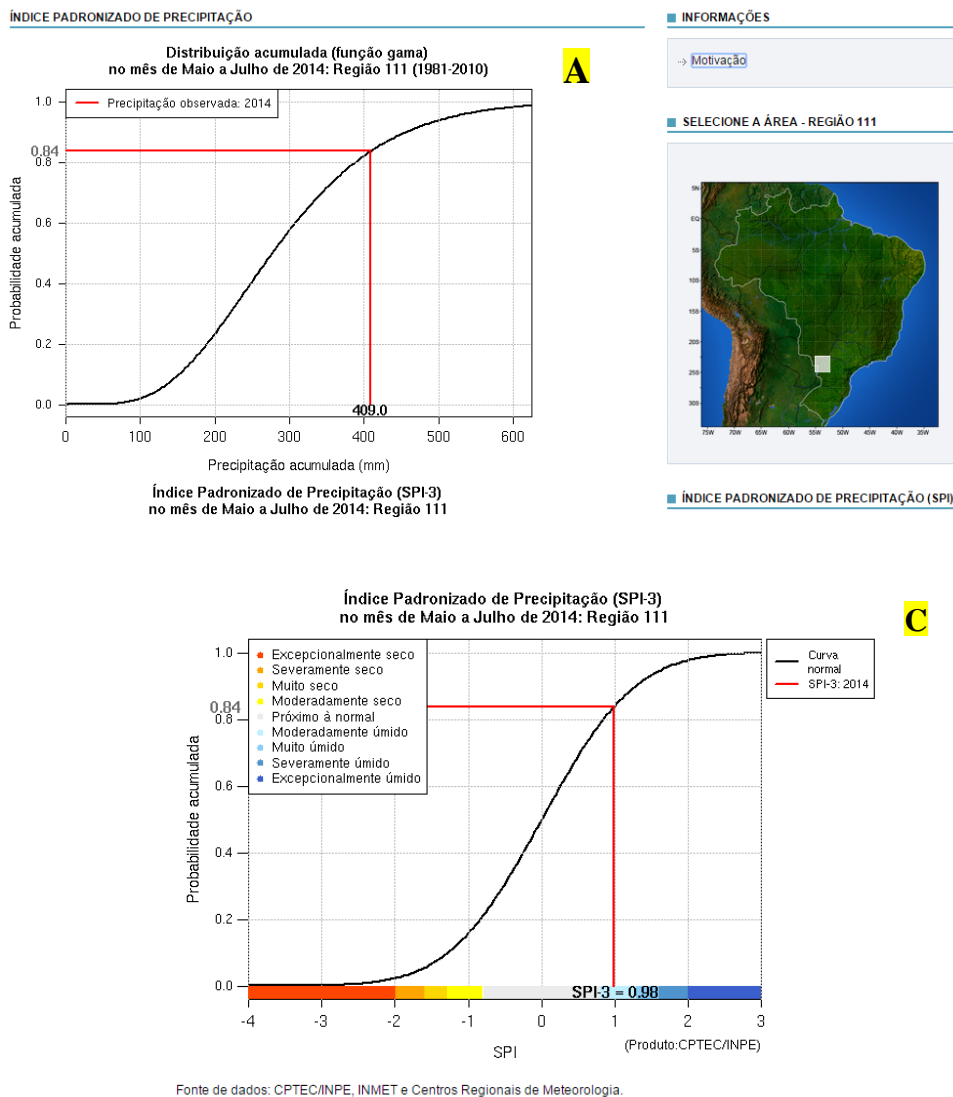
$$\text{SPI} = z_i = (P_i - \bar{A}_i) / \sigma_i$$

na qual  $P_i$  é a precipitação observada e  $\bar{A}_i$  e  $\sigma_i$  respectivamente, a média e o desvio padrão da série ajustada.

O produto disponibilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), mostra inicialmente a curva Gama da distribuição de probabilidade acumulada da precipitação ajustada utilizando os dados históricos de precipitação de 1981 a 2010, indicando o valor da chuva observada no período em questão (eixo X) e o valor de probabilidade de ocorrência deste ou inferior valor (eixo Y). O segundo gráfico expressa a curva de distribuição normal (Gaussiana) indicando o valor do índice SPI (eixo X) associado ao percentil correspondente ao valor de precipitação acumulada observado na data em questão (eixo Y) (Figura 1).

De acordo com os dados do INPE, o SPI está disponível nas escalas de tempo de 1, 3, 6, 12, 24 e 48 meses, significando o período durante o qual se acumula o valor de precipitação: o SPI-1 corresponde à precipitação mensal, o SPI-3 corresponde à precipitação acumulada em 3 meses, e assim por diante.

Para investigar as relações entre o tempo e o aparecimento de sintomas de ferrugem asiática da soja nas regiões do Estado do Paraná, foram utilizados os dados existentes no banco de dados do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos/ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE), Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e Centros Estaduais/Regionais de Meteorologia, disponibilizados no site do CPTEC/INPE ([www.cptec.inpe.br/clima](http://www.cptec.inpe.br/clima)), com período disponibilizado de dados da safra 2004/2005 até 2014/2015.



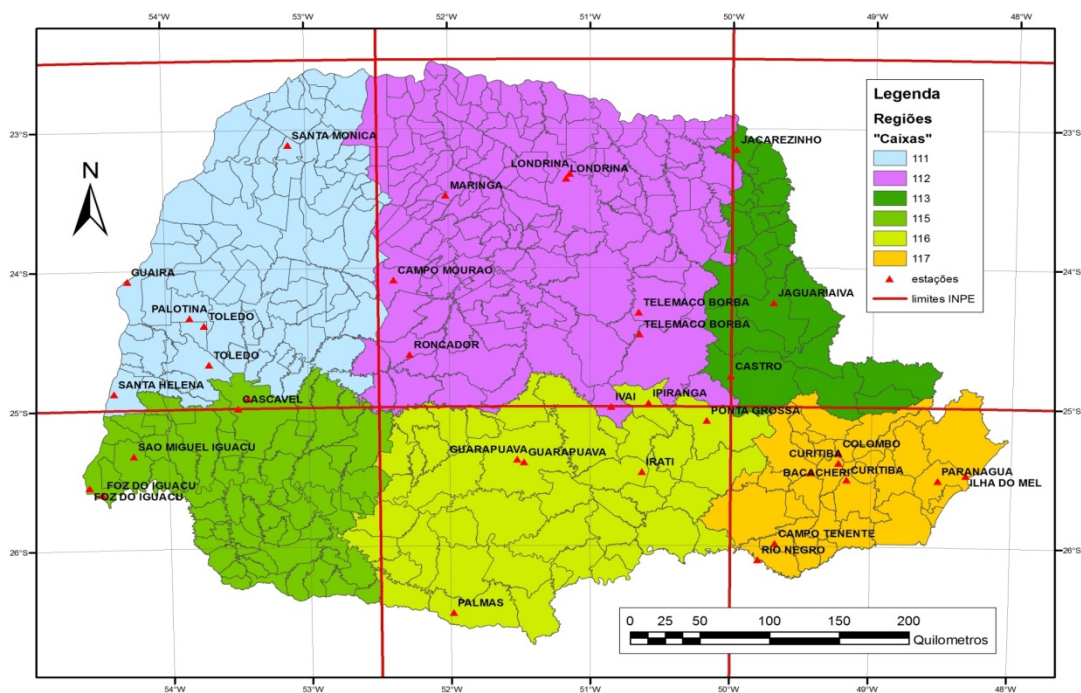
**Figura 1** – Exemplo de visualização no site CPTEC/INPE dos dados de SPI-3 (trimestral) referente aos trimestre MJJ (Maio-Junho-Julho) de 2014, para a região (caixa) 111, correspondente à região noroeste do Estado do Paraná (BRASIL/INPE, 2015), onde **A** refere-se ao gráfico da precipitação acumulada no trimestre Maio-Junho-Julho de 2014 (mm) versus probabilidade de ocorrência (%), frente ao histórico de precipitação, normal climatológica (1981-2010); **B**, região 111 (2,5° x 2,5°), do INPE, sobre o Estado do Paraná, e **C**, gráfico de propabilidade de ocorrência da precipitação acumulada verificada e SPI-3 (Maio-Junho-Julho).

ESTADO DO PARANÁ

Os dados de precipitação acumulada trimestral foram obtidos a partir do site do CPTEC/INPE são referentes a 36 estações meteorológicas do INMET e Centros Estaduais/Regionais de Meteorologia distribuídas ao longo do Estado do Paraná, localizadas

nos municípios de Curitiba (3 estações), Campo do Tenente, Campo Largo, Campo Mourão, Cascavel (2 estações), Castro, Colombo, Foz do Iguaçu (2 estações), Guaíra, Guarapuava (2 estações), Ilha do Mel, Ipiranga, Irati, Ivaí, Jacarezinho, Jaguariaíva, Londrina (2 estações), Maringá, Palmas, Palotina, Paranaguá, Ponta Grossa, Rio Negro, Roncador, Santa Helena, Santa Mônica, São Miguel do Iguaçu, Telêmaco Borba e Toledo (2 estações).

Os dados de precipitação pluviométrica acumulada (mm) são produtos disponibilizados através de visualização gráfica, com o valor SPI calculado para a escala temporal de 3 meses (trimestre), a partir de janeiro de 1981 até os meses do ano corrente, abrangendo 124 regiões (caixas de 2,5° x 2,5° de latitude e longitude sobre o Brasil. No caso do Paraná, as regiões 111, 112, 113, 115, 116 117 são específicas do Estado do Paraná, de onde foram obtidos os dados para a elaboração deste artigo (Figura 2).



**Figura 2** Mapa do Estado do Paraná, com a localização das regiões estabelecidas pelo INPE e as estações meteorológicas que coletam dados para a base do INPE (Fonte: BRASIL/INPE(2015), adaptado por Caviglione (2015)).

## OCORRÊNCIA DE SINTOMAS: CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM

As informações relacionadas à ocorrência de sintomas de ferrugem asiática da soja nas diferentes regiões do Estado do Paraná, foram obtidas a partir do CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM (<<http://www.consorcioantiferrugem.net>>), para o período total de dados existentes no site, iniciando pela safra 2004/2005 até 2014/2015.

Os eventos foram agrupados por mês de ocorrência e posteriormente, somados para um espaço temporal de 3 meses. O agrupamento trimestral de eventos ocorridos, de forma sazonal, foram: NDJ (Novembro-Dezembro-Janeiro), DJF (Dezembro-Janeiro-Fevereiro), JFM (Janeiro-Fevereiro-Março), FMA (Fevereiro-Março-Abril), MAM (Março-Abril-Maio), AMJ (Abril-Maio-Junho), MJJ (Maio-Junho-Julho), JJA (Junho-Julho-Agosto), JAS (Julho-Agosto-Setembro), ASO (Agosto-Setembro-Outubro), SON (Setembro-Outubro-Novembro), OND (Outubro-Novembro-Dezembro).

Os dados por cidade onde a ferrugem foi diagnosticada pelo Laboratório credenciado pelo CONSÓRCIO, foram agrupados em regiões definidas pela base de dados do INPE, sendo: 111, 112, 113, 115, 116 e 117, conforme demonstrado na Tabela 1 e Figura 2.

Foi utilizada regressão polinomial linear (FERREIRA, 2005) e polinomial quadrática, visando analisar a relação entre o número de ocorrências acumuladas nos trimestres, verificadas em diferentes períodos: “Ano Todo”, “Safra” e “Entressafra”, com os índices de variabilidade climática: precipitação pluviométrica acumulada trimestral, SPI-3, IOS-3 e SST Niño 3.4, nos períodos: “Ano Todo” (todos os trimestres do ano), “Safra” [trimestres Julho-Agosto-Setembro (JAS), Agosto-Setembro-Outubro (ASO), Setembro-Outubro-Novembro (SON), Outubro-Novembro-Dezembro (OND), Novembro-Dezembro-Janeiro (NDJ), Dezembro-Janeiro-Fevereiro (DJF), Janeiro-Fevereiro-Março (JFM) e Fevereiro-Março-Abril (FMA)] e “Entressafra” [trimestres: Março-Abril-Maio (MAM), Abril-Maio-Junho (AMJ), Maio-Junho-Julho (MJJ) e Junho-Julho-Agosto (JJA)], para as regiões definidas pelo INPE. Os períodos “Safra” e “Entressafra” foram definidos de acordo com BRASIL/CONAB (2014).

A variável resposta, definida pelo número de ocorrências, foi denominada de Y. Os índices foram plotados no eixo do X e comparados um a um com a variável resposta. Além do coeficientes de determinação ( $R^2$ ) também foi analisada a significância da regressão obtida para testar a validade do modelo. Para as regressões lineares que obtiveram coeficiente de determinação acima de 0,70, buscou-se uma melhor explicação do modelo, com a aplicação de regressão polinomial quadrática aos mesmos dados utilizados na regressão linear.

Adicionou-se um outro componente ao trabalho que foi a relação do número de ocorrências de sintomas de ferrugem em uma determinada região, safra ou trimestre, com o número ocorrências subsequentes em outra região, safra ou trimestre. Da mesma forma, foram calculados coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e utilizada a regressão linear e polinomial.

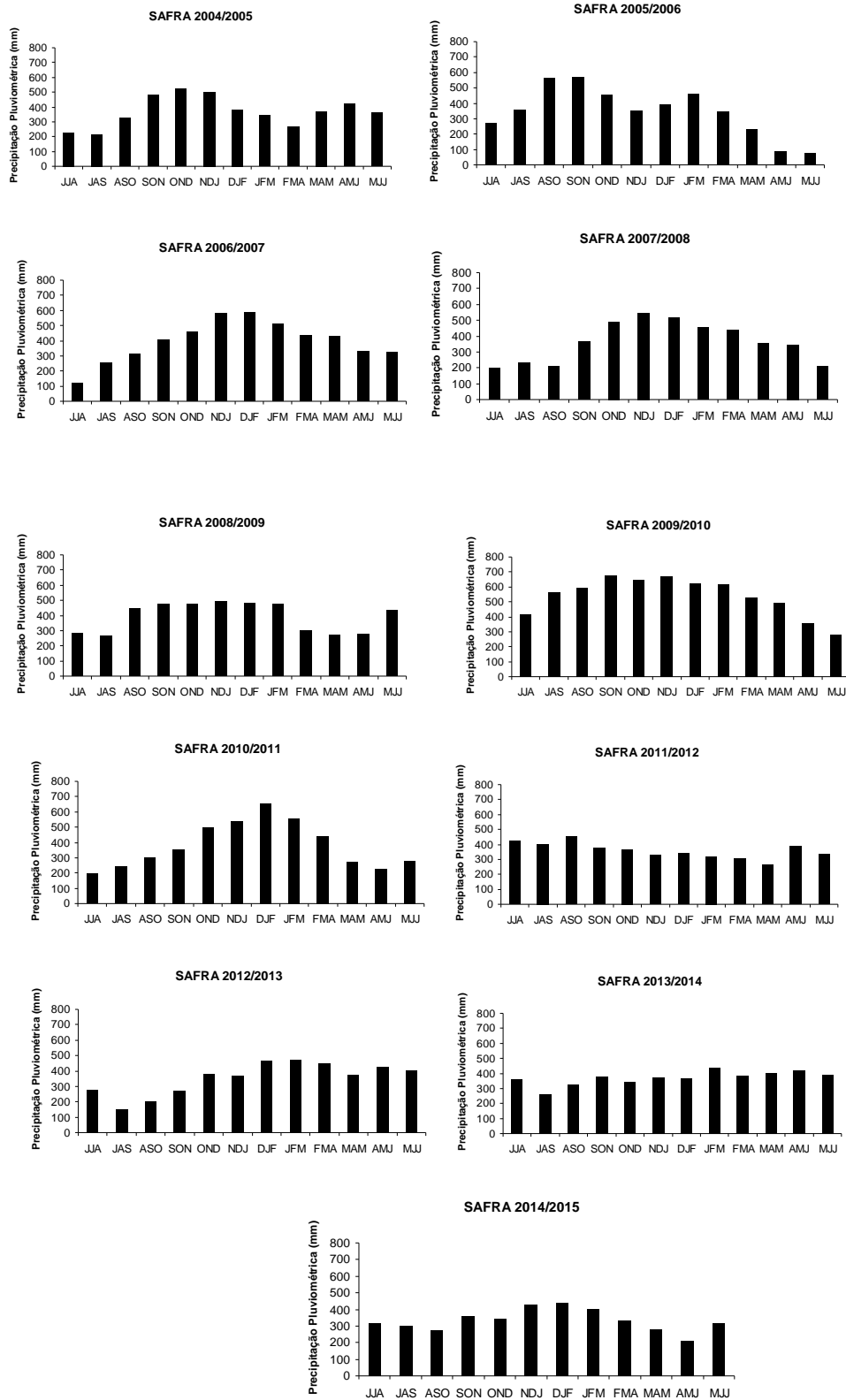
**Tabela 1** – Distribuição dos municípios com ocorrência de ferrugem no CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM, nas safras 2004/2005 a 2014/2015, de acordo com sua região, para o Estado do Paraná, segundo BRASIL/INPE (2015).

REGIÃO/ MUNICÍPIO	REGIÃO/ MUNICÍPIO	REGIÃO/ MUNICÍPIO	REGIÃO/ MUNICÍPIO	REGIÃO / MUNICÍPIO	REGIÃO/ MUNICÍPIO
<b>Região 111</b>	<b>Região 112</b>	<b>Região 112 (cont.)</b>	<b>Região 112 (cont.)</b>	<b>Região 115</b>	<b>Região 116</b>
Campina da Lagoa	Bandeirantes	Luiziana		Ampére	Coronel Vivida
Boa Esperança	Andirá	Kaloré	Terra Boa	Guaraniaçu	Candói
Brasilândia do Sul	Apucarana	Leópolis	Uraí	Santa Tereza do Oeste	Cantagalo
Cafelândia	Arapuã	Londrina	Ventania	Virmond	Chopinzinho Fernandes
Cianorte	Barbosa Ferraz	Lunardelli		Capanema	Pinheiro
Douradina	Barra do Jacaré	Mandaguari		Cascavel	Goioxim
Entre Rios do Oeste	Boa Ventura de São Roque	Manoel Ribas	<b>Região 113</b>	Dois Vizinhos	Guarapuava
Farol	Bom Sucesso	Marumbi	Arapoti	Itaipulândia	Honório Serpa
Formosa do Oeste	Borrazópolis	Mato Rico	Castro	Marmeleiro	Imbituva
Iporã	Cambará	Mauá da Serra	Jacarezinho	Realeza	Irati
Jesuítas	Cambira	Nova Cantu	Jaguariaíva	Santa Izabel do Oeste	Mangueirinha
Juranda	Candido de Abreu	Nova Santa Bárbara	Pirai do Sul		Pinhão
Mamborê	Carambei	Nova Tebas	Sertanópolis		Ponta Grossa
Marechal Candido Rondon	Colorado	Ortigueira	Santana do Itararé		Rebouças
Araruna	Abatiá	Jussara	Wenceslau Braz		Turvo
Mercedes	Congonhinhas	Peabiru			
Moreira Sales	Cornélio Procópio	Pinhalão			
Nova Aurora	Corumbatai do Sul	Pitanga			
Nova Santa Rosa	Fênix	Quinta do Sol			
Ouro Verde do Oeste	Godoy Moreira	Ribeirão do Pinhal			
Pato Bragado	Ibaiti	Rio Bom			
Pérola	Iretama	Rolândia			
Quatro Pontes	Itambaracá	Roncador			
São Pedro do Iguçu	Ivai	Sabáudia			
Tapejara	Ivaiporã	Santa Cecília do Pavão			
Toledo	Jaboti	Santa Mariana			
	Jandaia do Sul	Santo Antonio da Platina			
	Jardim Alegre	São João do Ivai			
		Sertaneja			

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

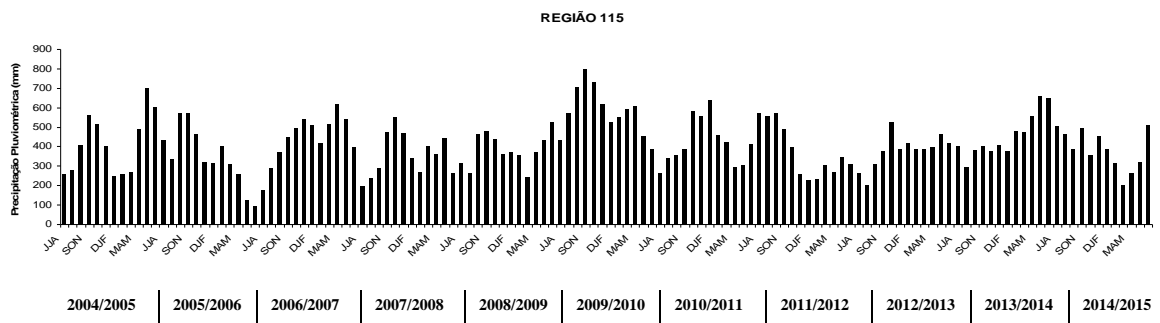
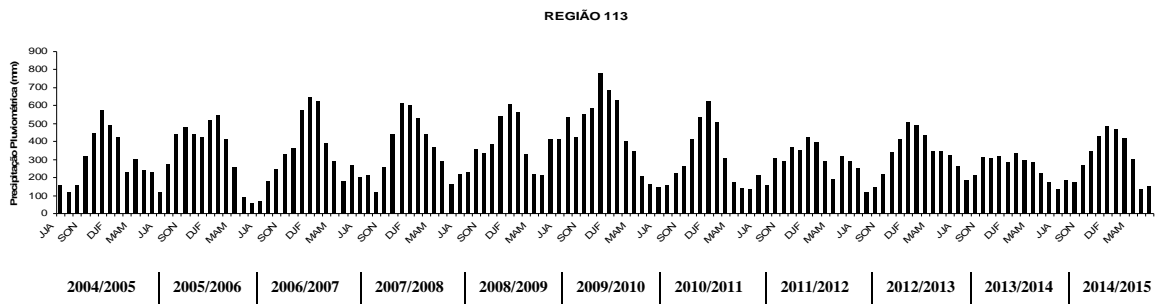
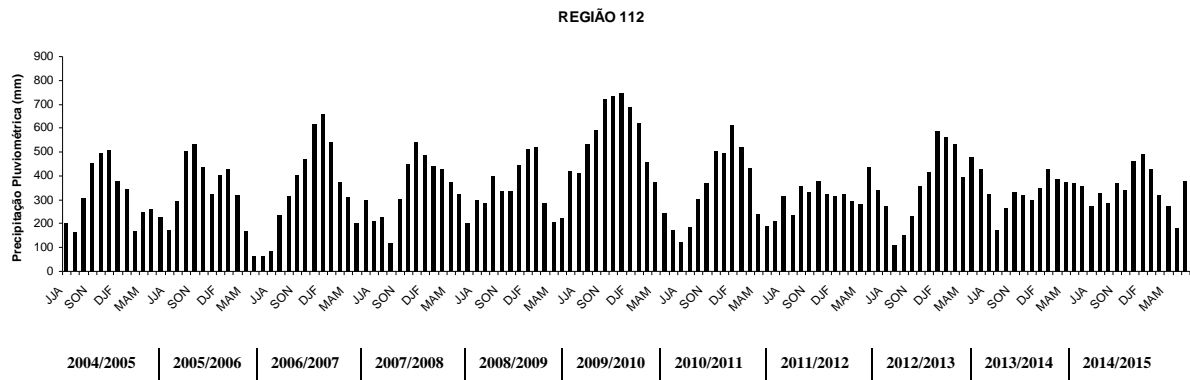
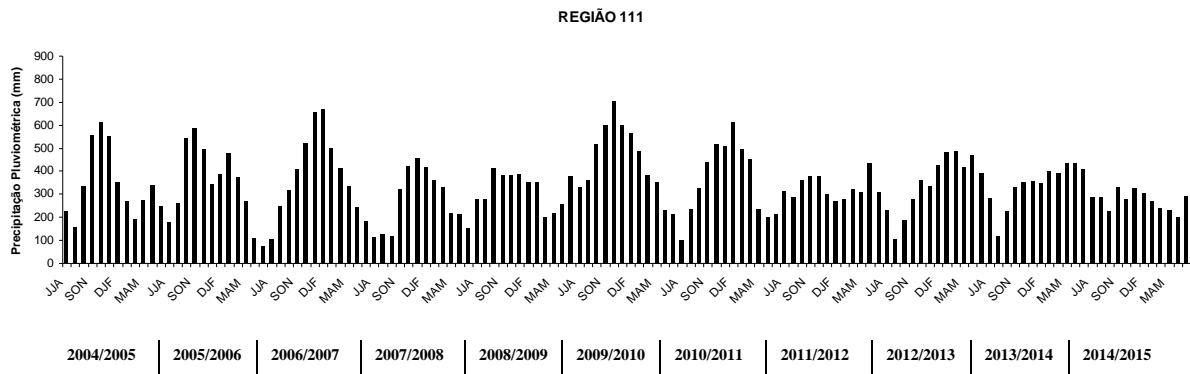
### PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA

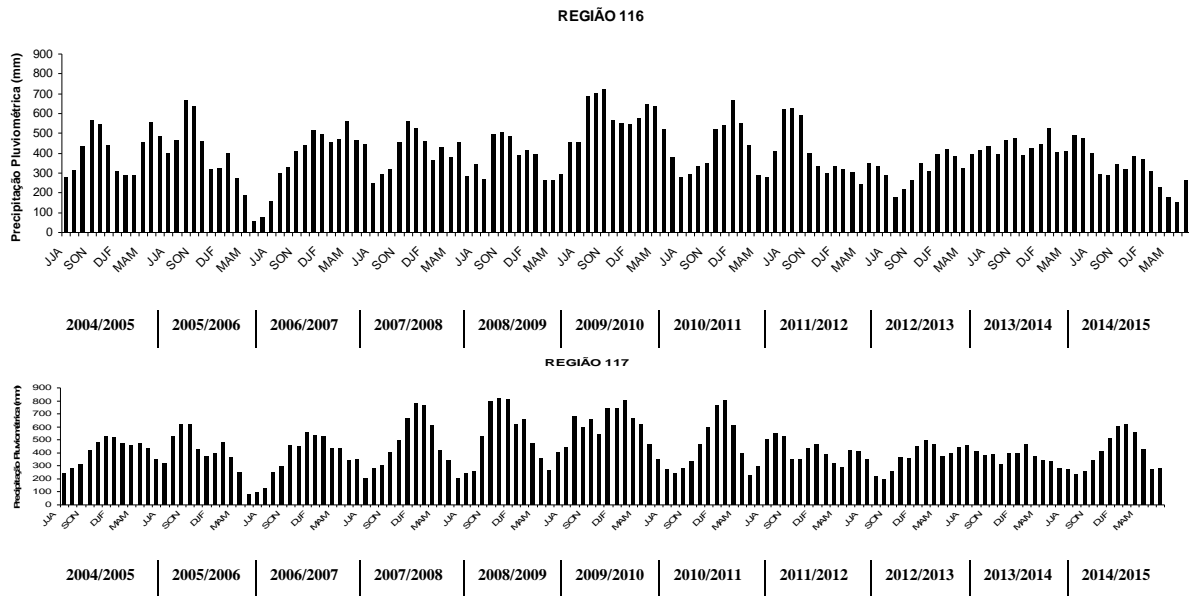
Os dados de precipitação pluviométrica acumulada para os trimestres do ano, estão apresentados na Figura 3, para todas as safras estudadas. Observa-se que nas safras 2004/2005, 2005/2006 e 2011/2012 houve menor volume de chuva acumulada nos trimestres Novembro-Dezembro-Janeiro (NDJ) a Janeiro-Fevereiro-Março (JFM). Na safra 2005/2006 houve baixa precipitação pluviométrica inclusive no trimestre Outubro-Novembro-Dezembro (OND). As safras 2006/2007, 2007/2008, 2010/2011 e 2013/2014 apresentaram menor volume chuva acumulada no início da safra, correspondente aos trimestres Julho-Agosto-Setembro (JAS) a Setembro-Outubro-Novembro (SON), voltando a aumentar o volume de precipitação pluviométrica após este período para as safras em questão. Pode se dizer que para a safra 2009/2010 a chuva acumulada foi bem distribuída para todos os trimestres.



**Figura 3** Precipitação pluviométrica acumulada trimestral (mm) nas safras de 2004/2005 a 2014/2015, para o Estado do Paraná.

Analisando períodos de ocorrências dos fenômenos El Niño e La Niña para as diferentes regiões definidas pelo INPE (Figura 4), as safras 2004/2005, 2006/2007 e 2009/2010 foram consideradas de ocorrência de El Niño de fraca intensidade, enquanto que na safra 2007/2008, houve o evento La Niña de forte intensidade. Em anos de El Niño espera-se maior volume pluviométrico na região sul do Brasil e em anos de La Niña o oposto disto (KOUSKY et al., 1984). Porém devido ao Estado do Paraná estar em uma região de transição os dados apresentados não seguiram fielmente esta descrição.





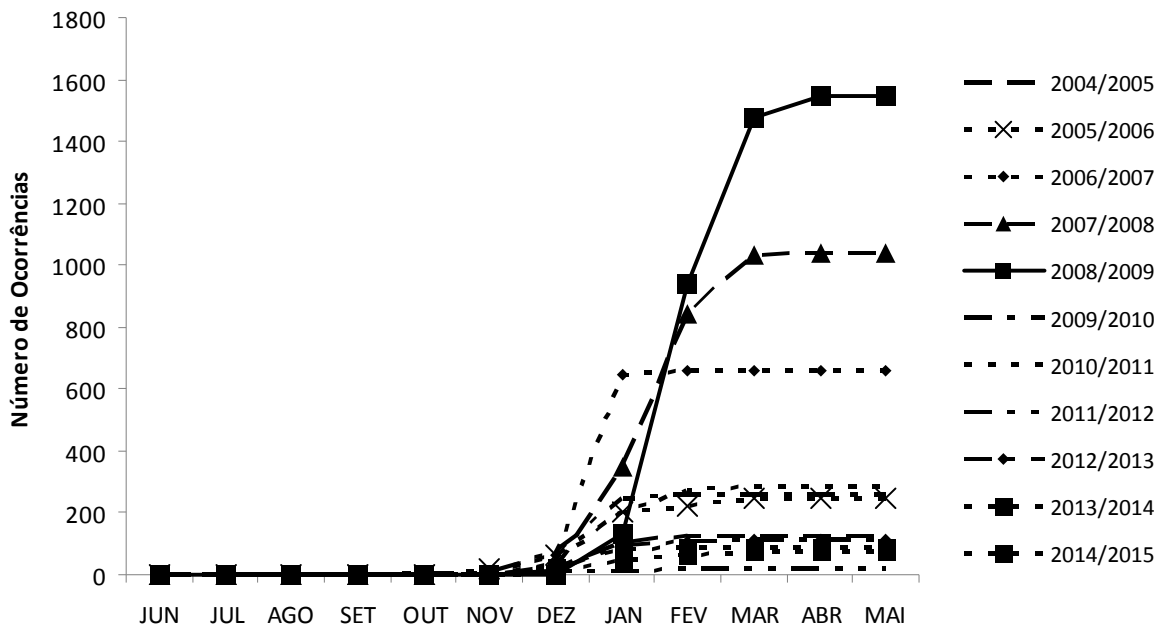
**Figura 4** Precipitação pluviométrica acumulada trimestral (mm) para as regiões 111, 112, 113, 115, 116 e 117, definidas pelo INPE nas safras 2004/2005 a 2014/2015 para o Estado do Paraná.

Os dados apresentados na Figura 4 demonstram que para as regiões 111, 112 e 113 a precipitação pluviométrica acumulada tende a diminuir nos trimestres Maio-Junho-Julho (MJJ), Junho-Julho-Agosto (JJA), Julho-Agosto-Setembro (JAS) e Agosto-Setembro-Outubro (ASO). Com exceção da safra 2006/2007, que foi caracterizada como safra sob influência do fenômeno La Niña, as regiões 115, 116 e 117 apresentaram boa distribuição de chuva durante todos os trimestres do ano. Tal fato indica possibilidade de antecipação de semeadura de soja logo que as condições de temperatura sejam estabelecidas para o desenvolvimento desta cultura, o que ocorre logo no início de setembro. Com o término do período de vazio sanitário no Estado do Paraná, dia 15 de setembro, os agricultores nestas regiões já iniciam a execução das atividades de semeadura de cultivares de ciclo precoce, o que para as regiões 111, 112 e 113 não ocorre com frequência devido à baixa precipitação verificada neste período.

A partir da safra 2011/2012 nota-se uma diminuição da precipitação pluviométrica acumulada para os períodos Setembro-Outubro-Novembro (SON) a Fevereiro-Março-Abril (FMA), correspondente aos períodos de maior demanda hídrica por parte da cultura e onde a severidade da doença tende a ser maior. Com a diminuição da precipitação verificada para estas safras nos períodos relatados, também existe tendência de redução da severidade da epidemia nestas condições.

A Figura 5 descreve as ocorrências acumuladas de ferrugem asiática relatadas no

CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM para as safras 2004/2005 a 2014/2015, em todos os meses do ano. Pode-se observar que as safras 2008/2009, 2007/2008 e 2006/2007, apresentaram o maiores ocorrências, em ordem decrescente. Os primeiros relatos na safra 2009/2010 foram descritos no mês de Setembro enquanto para as demais safras, estes relatos iniciaram o seu início nos meses de Outubro-Novembro. A safra 2008/2009 apresentou relato de ocorrências até o mês de Maio. Para a safra 2006/2007 o pico máximo de ocorrências ocorreu no mês de Janeiro, enquanto para as safras 2007/2008 e 2008/2009, o pico máximo de ocorrências ocorreu no mês de Fevereiro. Esperava-se que as safras 2006/2007 e 2009/2010 apresentassem maiores ocorrências por serem anos de El Niño, onde deveria chover mais na região.



**Figura 5** Número de ocorrências acumuladas de ferrugem asiática da soja relatados nos diversos meses do ano nas safras 2004/2005 a 2014/2015, obtidos no banco de dados do CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM, para o Estado do Paraná (BRASIL/CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM (2015).

Em função da ausência de relação entre precipitação pluviométrica acumulada e ocorrência de ferrugem, buscou-se variáveis para tentar explicar o alto número de relatos na safra 2007/2008.

Na Tabela 2 estão descritos detalhadamente os índices responsáveis pela variabilidade interanual do clima e sua possível relação com o número de eventos de ferrugem asiática disponibilizados no site do CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM.

A análise do resumo feito pela Tabela 2 indica que tanto para as regiões como para as safras, o relato de ocorrências nos meses considerados “safra”, “entressafra” e “ano todo” não indicou linearidade em razão dos baixos coeficientes de determinação e sem a manifestação de significância para a regressão.

A relação é significativa quando se chega mais detalhadamente na escala temporal de trimestre do que na escala temporal de safra ou mesmo na escala espacial de região.

O número de relatos de ocorrências total no ano teve relação com o índice precipitação pluviométrica acumulada dentro de cada trimestre, independentemente da região ou da safra. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) para a precipitação pluviométrica acumulada foi de 0,47, ao nível de significância de 1%. Para os períodos de safra e entressafra este indicador não alcançou bons resultados na relação com os relatos de ocorrência da doença, mesmo com valor elevado na entressafra, para precipitação pluviométrica verificada na entressafra, obtendo um  $R^2$  da regressão de 0,63, este porém não foi significativo.

O índice SPI-3 teve uma forte relação com o número de eventos de ferrugem asiática relatados no site do CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM dentro dos trimestres, independentemente da região e safra, para os períodos: “ano todo” e “safra”. No período “Ano Todo”, o  $R^2$  de 0,73, foi significativo ao nível de 1% de significância e no período “Safra” o  $R^2$  foi de 0,85, ao nível de 1% de significância. A regressão não foi significativa para o período “entressafra”.

O índice IOS-3 não apresentou relação com o número de relatos de ocorrência em nenhum período estudado, nem para os trimestres, safras e regiões.

Para o índice SST Niño 3.4, houve relação forte para os períodos “ano todo” e “safra” No período “entressafra”, dentro dos trimestres, o  $R^2$  de 0,76 não foi significativo, indicando que a regressão não pode ser explicada.

Estes resultados demonstraram que as anomalias de temperatura da água na superfície do mar (SST) verificadas na faixa do Oceano Pacífico Tropical proporcionaram maior sensibilidade na relação com o número de ocorrências de ferrugem asiática relatado no site do CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM do que a pressão atmosférica (IOS) verificada nesta mesma região do Oceano Pacífico.

Por estes resultados pode-se dizer que a precipitação, representada pelos valores de precipitação pluviométrica, SPI-3 e SST Niño 3.4, comprovou estar relacionada diretamente

com o relato das ocorrências do site do CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM confirmando a sua importância no desenvolvimento da epidemia da ferrugem asiática da soja (TSCHANZ et al.1984; TSCHANZ & SHANMUGASUNDARAM, 1985; BERGAMIN FILHO, 2006; DEL PONTE et al., 2006a; DEL PONTE, 2006b; TSUKAHARA et al., 2008; MEGETO et al., 2014).

Os resultados demonstrados na Tabela 2 indicam que o índice SPI-3 e o SST Niño 3.4, ambos na escala temporal para 3 meses, são os mais indicados para explicar a relação número de ocorrências de ferrugem asiática da soja, descritos no site do CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM, para cada trimestre estudado, tanto para período “Ano Todo” como para “Safrá”, não sendo recomendado para o período “Entressafrá”, sendo o SST Niño 3.4 o que apresentou os maiores coeficientes de determinação.

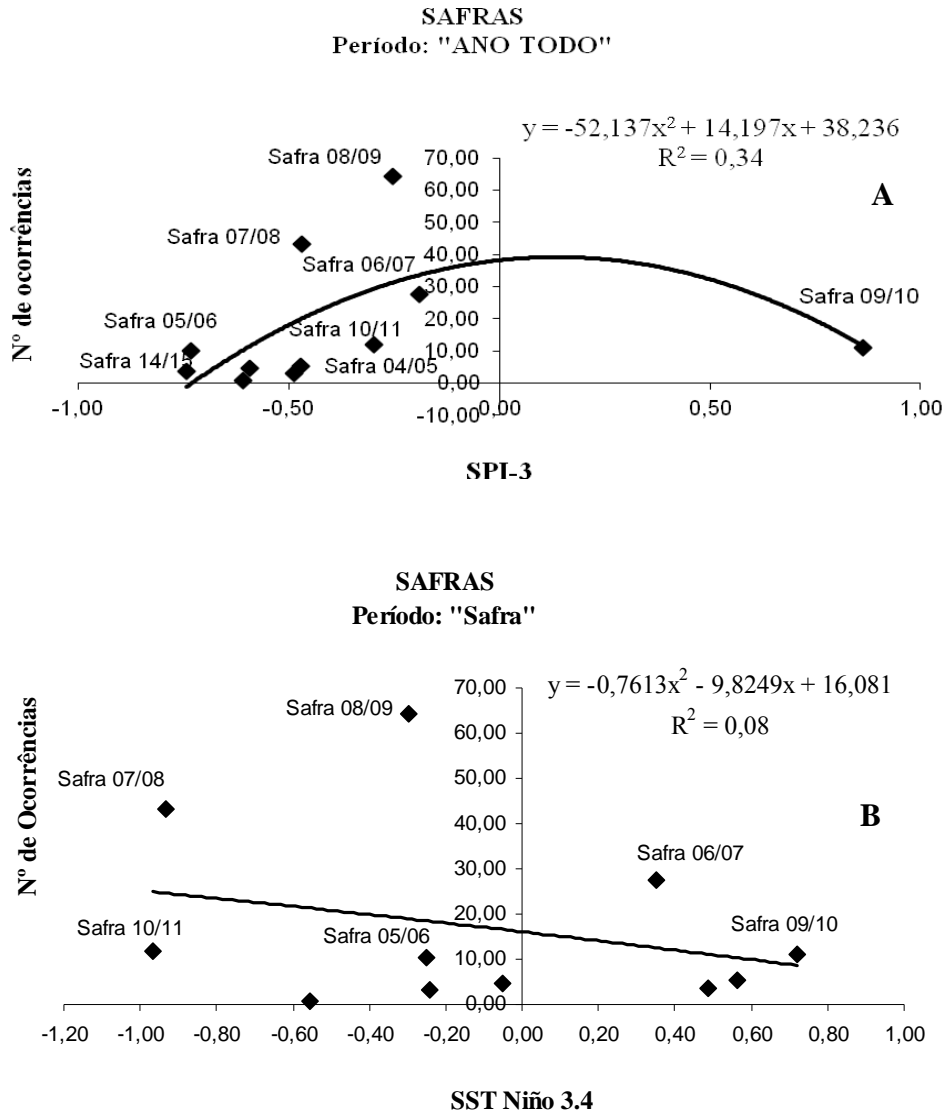
**Tabela 2** Coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de regressões lineares geradas entre o relato de ocorrência de ferrugem asiática, na safra, na entressafrá e no total do ano, no site do CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM e os índices: Precipitação pluviométrica acumulada (acc), SPI-3, IOS-3 e SST Niño 3.4, para todas as regiões, safras e trimestres analisados, no Estado do Paraná.

ÍNDICE	Ocorrências “ano todo”			Ocorrências “safra”			Ocorrências “entressafrá”		
	REGIÃO	SAFRA	TRIMESTRE	REGIÃO	SAFRA	TRIMESTRE	REGIÃO	SAFRA	TRIMESTRE
Precipitação pluviométrica total acc	0,16 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,47**	0,16 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	-	0,00 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	-
Precipitação pluviométrica safra acc	0,19 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	-	0,19 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,35 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	-
Precipitação pluviométrica entressafrá acc	0,06 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	-	0,06 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	-	0,05 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	0,63 <sup>ns</sup>
SPI 3 Médio total	0,20 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,73**	0,04 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	-	0,03 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	-
SPI 3 Médio safra	0,07 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	-	0,07 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	0,85**	0,06 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	-
SPI 3 Médio entressafrá	0,05 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	-	0,05 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	-	0,08 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	0,32 <sup>ns</sup>
IOS 3 Médio total	-	0,11 <sup>ns</sup>	0,50 <sup>ns</sup>	-	0,11 <sup>ns</sup>	-	-	0,12 <sup>ns</sup>	-
IOS 3 Médio safra	-	0,07 <sup>ns</sup>	-	-	0,12 <sup>ns</sup>	0,43 <sup>ns</sup>	-	0,14 <sup>ns</sup>	-
IOS 3 Médio entressafrá	-	0,02 <sup>ns</sup>	-	-	0,02 <sup>ns</sup>	-	-	0,11 <sup>ns</sup>	0,39 <sup>ns</sup>
SST Niño 3.4 Médio total	-	0,08 <sup>ns</sup>	0,96**	-	0,08 <sup>ns</sup>	-	-	0,07 <sup>ns</sup>	-
SST Niño 3.4 Médio safra	-	0,07 <sup>ns</sup>	-	-	0,07 <sup>ns</sup>	0,99**	-	0,08 <sup>ns</sup>	-
SST Niño 3.4 Médio entressafrá	-	0,07 <sup>ns</sup>	-	-	0,08 <sup>ns</sup>	-	-	0,01 <sup>ns</sup>	0,71 <sup>ns</sup>

(<sup>ns</sup>) não significativo; (\*\*) significativo a 1 %

A partir destas informações, buscou-se a regressão polinomial quadrática (2º grau) para os principais indicadores de relação com o número de eventos, pois esta pode ser a

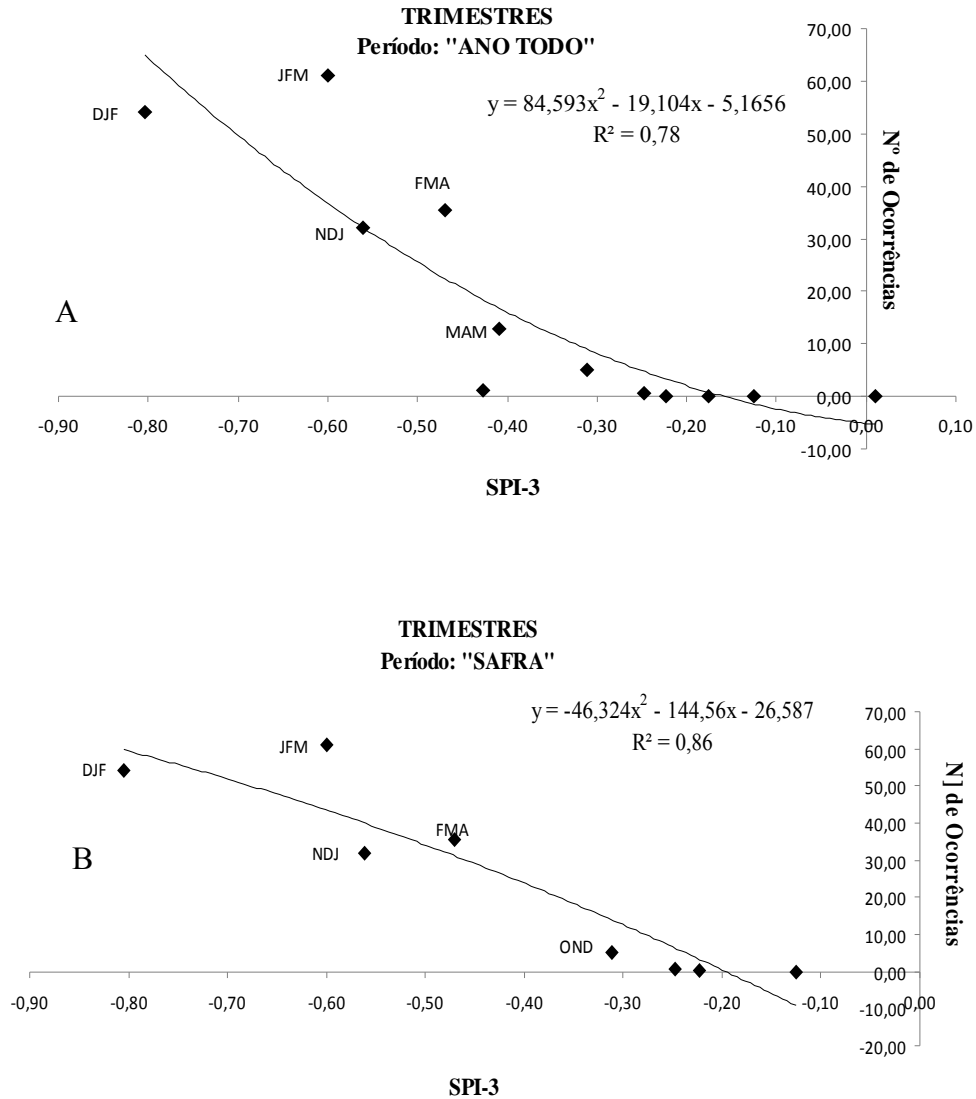
equação que melhor explica a relação. Quando se analisam os dados nas safras, a regressão polinomial não explicou a relação, com  $R^2$  em 0,34 e 0,08, para SPI-3 e SST Niño 3.4 (Figura 6).



**Figura 6** Regressão polinomial quadrática da relação número de ocorrências e SPI 3, na escala temporal SAFRAS, no período “Safras” (A) para todas as regiões e trimestres; onde, eixo Y, número de ocorrências e eixo X, índice SPI 3 e regressão polinomial quadrática da relação número de ocorrências e SST Niño 3.4, no período “Safras” (B) para todas as regiões e trimestres, para o Estado do Paraná.

Na Figura 7, a equação gerada pela regressão polinomial para a relação número de ocorrências e SPI-3 para o período “Ano Todo”, registrou  $R^2$  de 0,78, dentro do nível de 1%

de significância. Esta regressão explicou melhor, pelo ajuste dos dados, a relação entre SPI-3 e o número de relatos de ferrugem para o período “Ano Todo” comparada à regressão linear.

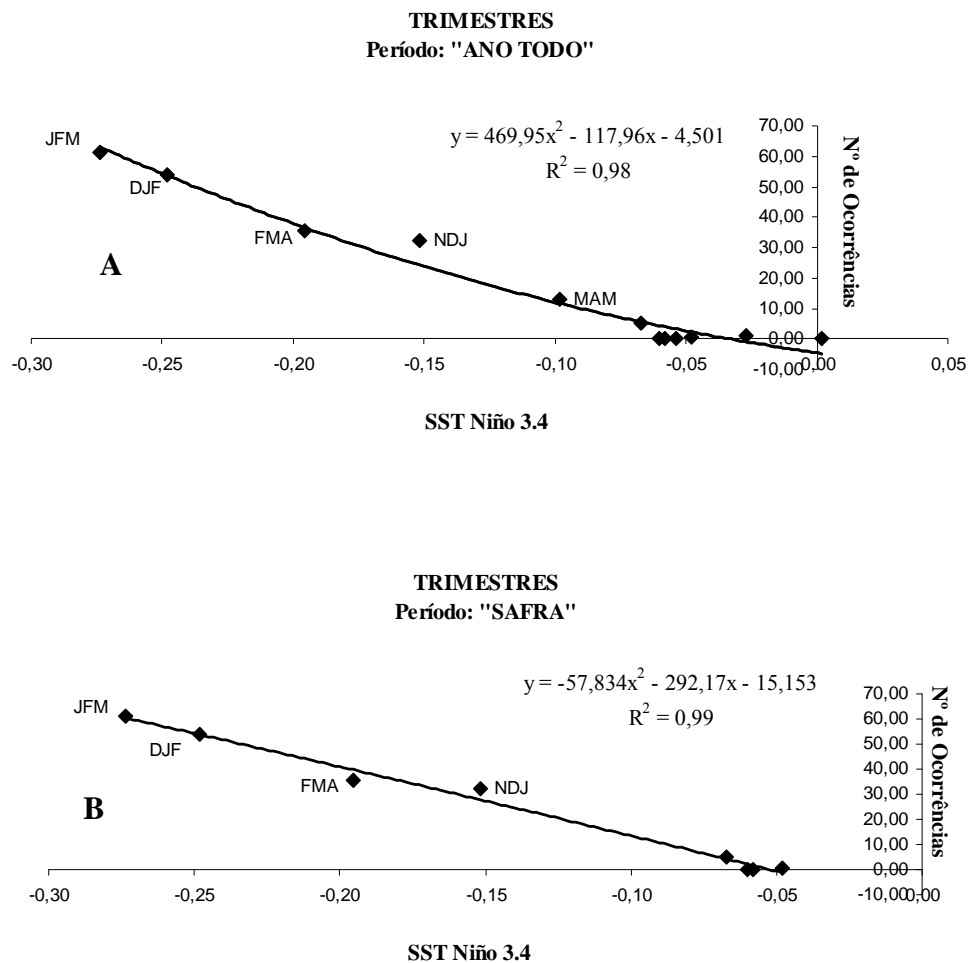


**Figura 7** Regressão polinomial quadrática da relação número de ocorrências e SPI 3, na escala temporal TRIMESTRES, no período “Ano Todo” (A) e período “Safrá” (B), para todas as regiões e safras; onde, eixo Y, número de ocorrências e eixo X, índice SPI 3, para o Estado do Paraná.

Aplicando-se a regressão polinomial quadrática para os dados de SPI-3 dos trimestres dentro do período “Safrá”, o coeficiente de determinação, subiu ainda mais, indicando uma forte relação entre este índice com o relato de ocorrências também para o período “Safrá”, com  $R^2$  atingindo 0,86, no mesmo nível de significância de 1%,

demonstrando que os dados ajustados a esta regressão explicam melhor a relação do que a regressão linear (Figura 7).

Na Figura 8, a equação gerada pela regressão polinomial para a relação número de ocorrências e SST Niño 3.4 para o período “Ano Todo”, registrou  $R^2$  de 0,98, dentro do nível de 1% de significância. Esta regressão explicou melhor, pelo ajuste dos dados, a relação entre SST Niño 3.4 e o número de relatos de ferrugem para o período “Ano Todo” comparada à regressão linear.



**Figura 8** Regressão polinomial quadrática da relação número de ocorrências e SST Niño 3.4, na escala temporal TRIMESTRES, no período “Ano Todo” (A) e período “Safrá” (B), para todas as regiões e safras; onde, eixo Y, número de ocorrências e eixo X, índice SST Niño 3.4, para o Estado do Paraná.

Na regressão polinomial quadrática gerada para os dados de SST Niño 3.4 dos trimestres dentro do período “Safrá”, o coeficiente de determinação, permaneceu em 0,99, no

mesmo nível de significância de 1%, demonstrando que os dados ajustados a esta regressão podem explicar melhor a relação, do que a regressão linear (Figura 8).

Os resultados não retiraram da precipitação pluviométrica sua importância (BROMFIELD, 1984; TSCHANZ et al.1984; TSCHANZ & SHANMUGASUNDARAM, 1985; BERGAMIN FILHO, 2006; DEL PONTE et al., 2006a; DEL PONTE, 2006b; MEGETO et al., 2014). Na variação interanual do número de relatos da epidemia da ferrugem asiática, porém, os melhores índices para avaliar esta relação são o SST Niño 3.4 e o SPI-3 e não o indicador precipitação pluviométrica. Os índices SST Niño 3.4 e SPI-3 mesmo não obtendo uma boa performance para o período “Entressafra” dentro dos trimestres, em contrapartida, apresentaram bom desempenho nos demais períodos analisados, inclusive “Ano Todo”, o que possibilita o seu uso para o monitoramento dos relatos durante o ano todo, para todas as safras e regiões do Estado do Paraná.

Dentro da proposta de Blain & Brunini (2006) e Blain (2011) de adaptar o índice padronizado de precipitação (SPI) aos interesses agrometeorológicos, os resultados indicaram a possibilidade de utilização deste índice também para os interesses da fitopatologia. Os resultados indicaram que da mesma maneira, deve-se inserir o índice SST Niño 3.4.

O presente trabalho acrescentou um componente a mais na análise da variabilidade interanual dos relatos de ocorrência de ferrugem asiática, que foi a sua variabilidade intra-anual, quando buscou estabelecer relações entre o número de ocorrências registrados no período “Entressafra” e seu possível efeito ou relação sobre os dados do período “Saфра” e “Ano Todo”, dentro de cada safra estudada, explicados na Tabela 3.

**Tabela 3** Relação entre número médio de ocorrências de ferrugem asiática no período “Entressafra” (trimestres MAM, AMJ, MJJ, JJA) com os relatos registrados de ocorrência de ferrugem asiática nos períodos “Safrá” (Trimestres JAS, ASO, SON, OND, NDJ, DJF, JFM, FMA) e “Ano Todo” (Todos os trimestres), dentro de cada safra analisada no Estado do Paraná para as 6 regiões do INPE.

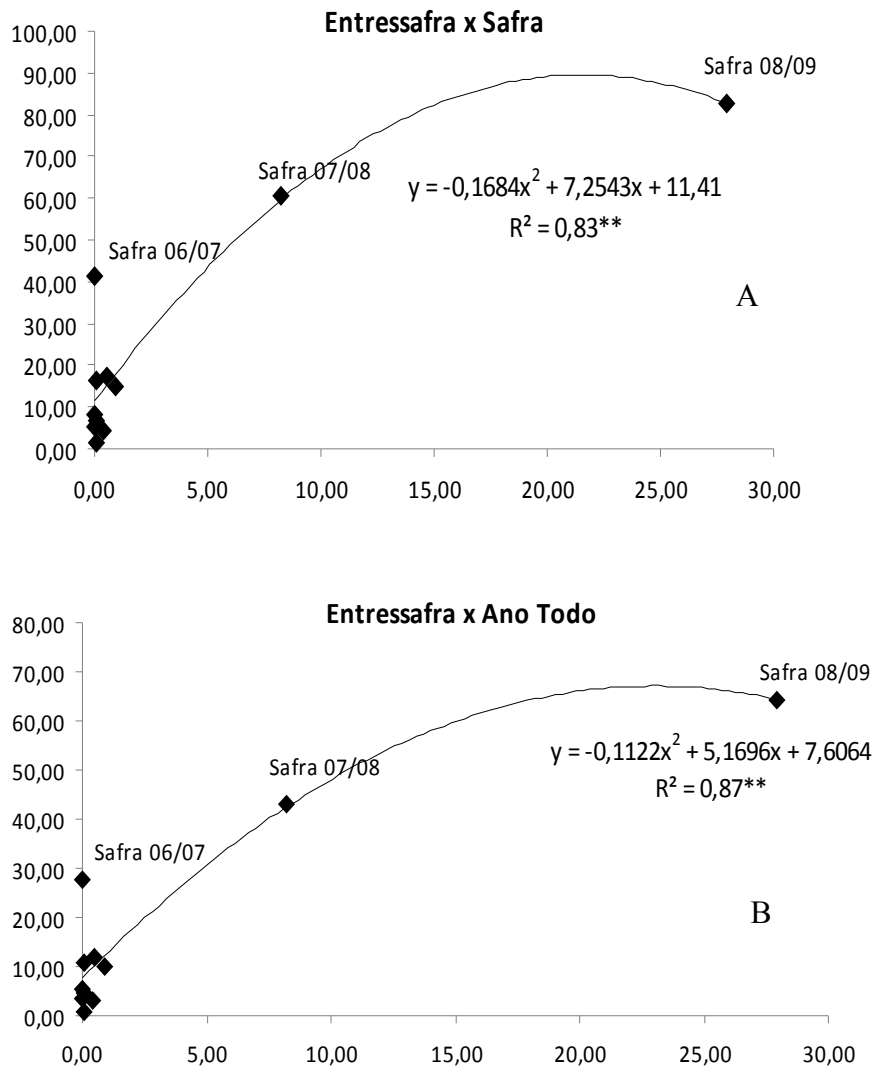
SAFRAS	OCORRÊNCIAS “Entressafra” ( trim. 5,6,7,8)	OCORRÊNCIAS “Safrá” (trim.. 9,10,11,12,1,2,3,4)	OCORRÊNCIAS “Ano Todo”
2004/2005	0,00	8,00	5,33
2005/2006	0,92	14,81	10,18
2006/2007	0,00	41,38	27,59
2007/2008	8,21	60,77	43,25
2008/2009	27,96	82,52	64,33
2009/2010	0,04	16,42	10,96
2010/2011	0,50	17,52	11,85
2011/2012	0,08	1,21	0,83
2012/2013	0,08	6,96	4,67
2013/2014	0,42	4,44	3,10
2014/2015	0,00	5,48	3,65
Média	3,47	23,59	16,89
R <sup>2</sup>		0,74**	0,80**

(\*\*) significativo a 1 % para regressão linear com número médio de ocorrências

Verificou-se que o número de ocorrências relatado no período “Entressafra” influenciou positivamente no número de relatos tanto do período “Safrá”, como “Ano Todo”, com um coeficiente de determinação, conforme regressão polinomial quadrática ( $R^2$ ), da ordem de 0,83 e 0,87, respectivamente. O nível de significância foi de 1% (Figuras 9).

Os resultados confirmaram a importante influência da chuva sobre a epidemia, porém, a quantidade de inóculo inicial referenciado neste trabalho como as ocorrências verificadas no período “Entressafra”, pode também ter explicado os efeitos positivos sobre as ocorrências do período “Safrá” e “Ano Todo” (CANTERI et al.(2007b); DEL PONTE (2006b) e MINCHIO (2011).

Estas informações indicaram que dependendo das ocorrências relatadas no site do CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM para o período “Entressafra”, este número poderá influenciar diretamente no número de ocorrências durante a safra vindoura, numa relação quadrática, ao nível de 1% de significância.



**Figura 9** Relação entre número médio de relatos de ferrugem asiática da soja verificados no período “Ano Todo” (A) eixo Y, decorrentes do efeito do número médio de relatos verificados no período “Entressafra”, eixo X, com números médios observados dentro de cada safra e número médio de relatos de ferrugem asiática da soja verificados no período “Safra” (B) eixo Y, decorrentes do efeito do número médio de relatos verificados no período “Entressafra”, eixo X, com números médios observados dentro de cada safra, independentemente da região para as 6 regiões do INPE, para o Estado do Paraná.

Esta observação é relevante para o estudo da epidemia, uma vez que para os resultados obtidos com as variáveis de ordem meteorológica, para o período “Entressafra”, não evidenciou-se relação com as ocorrências, porém, o que parece claro, neste momento, que as ocorrências devem ser melhor acompanhadas durante o período “Entressafra”, pois estas associadas com o acompanhamento dos índices SST Niño 3.4 e SPI-3 possibilitarão prever com maior clareza as ocorrências prováveis para o período “Safra” e “Ano Todo”, no decorrer do ano agrícola.

## CONCLUSÃO

As ocorrências de ferrugem asiática relatadas no período “Safrá” e período “Ano Todo”, obtidos do site do CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM, tem relação com o índice temperatura na superfície do mar (SST Niño 3.4), do Oceano Pacífico tropical e o índice padronizado de precipitação (SPI-3), para os diferentes trimestres do ano, dentro das regiões e safras analisadas.

Verificou-se que as ocorrências relatadas no período “Entressafrá” influenciaram positivamente as ocorrências tanto do período “Safrá” como “Ano Todo”.

## REFERÊNCIAS

- BERGAMIN FILHO, A. Epidemiologia comparativa: ferrugem da soja e outras doenças. In: Zambolin, L. (Org.) **Ferrugem Asiática da Soja**, Visconde do Rio Branco: Suprema Gráfica e Editora. 2006. pp.15-35.
- BERLATO, M.A.; FARENZENA, H.; FONTANA, D.C. Associação entre El Niño Oscilação Sul e a produtividade do milho no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.5, p.423-432, 2005.
- BERLATO, M.A.; FONTANA, D.C. Variabilidade interanual da precipitação e variabilidade dos rendimentos de soja no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.7, n.1, p.119-125, 1999.
- BLAIN, G.C. Aplicação do conceito do índice padronizado de precipitação à serie decenal da diferença entre precipitação pluvial e evapotranspiração potencial. **Bragantia**. Campinas, v.70, n.1, p.234-245, 2011.
- BLAIN, G.C.; BRUNINI, O. Quantificação da seca agrícola pelo índice padronizado de evapotranspiração real (IPER) no Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v.65, n.3, p.517-525, 2006.
- BLAIN, G.C.; BRUNINI, O. Análise da escala temporal de monitoramento das secas agrícolas e meteorológicas no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.22, n.2, 255-261, 2007.
- BONDE, M.R.; BERNER, D.K.; NESTER, S.E.; FREDERICK, R.D. Effects of temperature on urediniospore germination germ tube growth, and initiation of infection in soybean by *Phakopsora* isolates. **Phytopathology**, v.97, n.8, p.997-1003, 2007.
- BRASIL/CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Terceiro Levantamento. Brasília, v2, n.3, p.1-100, 2014.
- BRASIL/CONSORCIO ANTIFERRUGEM. **Consórcio antiferrugem**. Disponível em: <http://www.consorcioantiferrugem.net>, acessado em 10/08/2015.
- BRASIL/INPE Informações sobre produtos de monitoramento climático mensal e sazonal das chuvas no Brasil na página do CPTEC/INPE. CPTEC/INPE. Cachoeira Paulista. 2014. Disponível em: [http://clima1.cptec.inpe.br/~rclima1/pdf/Documento\\_produto\\_indice.pdf](http://clima1.cptec.inpe.br/~rclima1/pdf/Documento_produto_indice.pdf), acessado em 08/08/2015.
- BROMFIELD, K. **Soybean rust**. Monografia nº 11. The American Phytopathological Society. St. Paul, 65p., 1984.

- CANTERI(a), M.G.; DEL PONTE, E.M.; GODOY, C.V.; TSUKAHARA, R.Y. Emprego de tecnologia da informação para previsão de epidemias e zoneamento agroclimático aplicáveis no controle de doenças de plantas. **Summa Phytopathologica**, v.23, p.121-124, 2007
- CANTERI(b), M.G.; TSUKAHARA, R.Y.; SILVA, O.C. Monitoramento das variáveis ambientais para controle da ferrugem asiática da soja. In: XL Congresso Brasileiro de Fitopatologia, 2007, Maringá. **Fitopatologia Brasileira**. Brasília : SBF, 2007. v. 32. p. 65-66.
- DEL PONTE(a), E.M.; GODOY, C.V.; LI, X.; YANG, X.B. Predicting severity of asian soybean rust epidemics with empirical rainfall models. **Phytopathology**, v.96, n.7, p.797-803, 2006.
- DEL PONTE(b), E.M. Retrospectiva e tendências em modelagem matemática e previsão de ferrugem asiática. **Revista Plantio Direto**, p.21-30, nov/dez 2006
- DEL PONTE, E.M.; ESKER, P.D. Considerações epidemiológicas na avaliação de risco e manejo da ferrugem asiática da soja. In: XL Congresso Brasileiro de Fitopatologia, 2007, Maringá. **Fitopatologia Brasileira**, 2007. v. 32. p. S58-S60.
- DIAZ, A.F.; STUDZINSKI, C.D. MECHOSO, C.R. Relationships between precipitation anomalies in Uruguay and Southern. **Journal of Climate**, v.11, p.251-271, 1998.
- DUFAULT, N.S.; ISARD, S.A.; MAROIS, J.J.; WRIGHT, D.L. Removal of wet deposited *Phakopsora pachyrhizi* urediniospores from soybean leaves by subsequent rainfall. **Plant Disease**, St. Paul, v. 94, n. 11, p. 1336-1340, 2010.
- EUA/NOAA. National Oceanic Atmospheric Administration. Disponível em <<http://www.cpc.ncep.noaa.gov>>, acessado em 10/08/2015.
- FERREIRA, D.B. Relações entre a variabilidade da precipitação e a produtividade agrícola de soja e milho nas regiões sul e sudeste do Brasil. Dissertação. INPE. São José dos Campos, 2005.
- FIALLOS, F.R.G. A ferrugem asiática da soja causada por *Phakopsora pachyrhizi* Sidow e Sidow. **Ciencia y Tecnología**, v.4, n.2, p.45-60, 2011.
- FONTANA, D.C.; BERLATO, M.A. Relação entre o El Niño Oscilação Sul (ENOS), precipitação e rendimento de milho no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v.2, n.1, p.39-45, 1996.
- HARDAKER, J.B.; HUIRNE, R.B.M.; ANDERSON, J.R. **Coping with risk in agriculture**. Oxon: CAB International, 1997. p.274.
- HARTMAN, G.L.; MILES, M.R.; FREDERICK, R.D. Breeding for resistance to soybean rust. **Plant Disease**, v.89, n.6, p.664-666, 2005

- HENNEN, J.F. The taxonomy of the soybean rusts. P.29-32. In: SINCLAIR, J.B.; HARTMAN, G.L.(eds). **Proceedings of the rust workshop**, 9-10 August, 1995
- KOCHMAN, J.K. The effect of temperature on development of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*). **Australian Journal of Agricultural Research**, v.30, n.2, p.273-277, 1979.
- KOUSKY, V.E.; CAVALCANTI, I.F.A. Eventos Oscilação Sul/El Niño. Características, evolução e anomalias de precipitação. **Ciência e Cultura**, v.36, n.11, p.1888-1899, 1984.
- KOUSKY, V.E.; KAYANO, M.T.; CAVALCANTI, I. F. A. A review of the southern oscillation oceanic atmospheric circulation changes and related rainfall anomalies. **Tellus** , v.36, p.490-504, 1984.
- LI, X.; YANG, X.B.; MO, J.Y; GUO; T.X. Estimation of soybean rust uredospore terminal velocity, dry deposition, and the wet depositon associated with rainfall. **European Journal of Plant Pathology**, v.123, p.377-386, set 2008.
- MARCHETTI, M.A.; UECKER, F.A.; BROMFIELD, K.R. Uredial development of *Phakopsora pachyrhizi* in soybeans. **Phytopathology**, v.65, p.822-823, julho 1975.
- McKEE, T.B.; DOESKEN, N.; KLEIST, J. The relationship of drought frequency and duration to time scales. Eight Conference on Applied Cimatology. Anaheim, California. Jan, 1993.
- MEGETO, G.A.S.; OLIVEIRA, S.R.M.; DEL PONTE, E.M.; MEIRA, C.A.A. Árvore de decisão par classificação de ocorrências de ferrugem asiática em lavouras comerciais com base em variáveis meteorológicas. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v.34, n.3, p.590-599, 2014.
- MELCHING, J.S.; DOWLER, W.M.; KOOGLE, D.L.; POYER, M.H. Effects of duration, frequency and temperature of leaf wetness periods on soybean rust. **Plant Disease**, v.73, p.117-122, fevereiro 1989.
- MINCHIO, C. A. Determinação da provável origem do inóculo de *Phakopsora pachyrhizi* e interação entre estágio fenológico, favorabilidade ambiental e presença do inóculo para controle da doença. Dissertação de Mestrado em Agronomia. Universidade Estadual de Londrina, Londrina, ,2011, 116p.
- PATIL, V.S.; WUIKE, R.V.; CHIRAME, B.B.; THAKARE, C.S. Viability and survival of uredospores of *Phakosora pachyrhizi* SYD in plant debris under different storage conditions. **Journal of Soils and Crops**, v.8, n.1, p.16-19, junho 1998
- PIVONIA, S. YANG, X.B. Assessment of the potential year-round establishment of soybean rust throught the world. **Plant Disease**, v. 88, p. 523-529, mai 2004.

- RAO, V.B.; HADA, K. Characteristics of rainfall over Brazil: annual variations and connections with the Southern Oscillation. **Theoretical Applied Climatology**, v.42, p.81-91, 1990.
- ROPELEWSKI, C.F.; HALPERT, M.S. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño / Southern Oscillation. **Monthly Weather Review**, v.115, p. 1606-1626, 1987.
- ROPELEWSKI, C.F.; HALPERT, M.S. Precipitation patterns associated with the high index phase of the southern oscillation. **Journal of Climate**, v. 4, p. 268-284, 1989.
- RUPE, J.; SCONYERS, L. Soybean rust. The Plant Health Instructor. DOI: 10.1094/PHI-I-2008-0401-01 2008. Disponível em:  
<http://www.apsnet.org/idcenter/intropp/lessons/fungi/Basidiomycetes/Pages/SoybeanRust.aspx>, acessado em 12/06/2011.
- SCHMITZ, H.F.; GRANT, R.H. Precipitation and dew in a soybean canopy: spatial variations in leaf wetness and implications for *Phakopsora pachyrhizi* infection. **Agricultural and forest meteorology**, v.149, p.1621-1627, março, 2009
- SINCLAIR, J.B.; HARTMAN, G.L. **Proceedings of the soybean rust workshop**. National Soybean Research Laboratory. University of Illinois of Urbana Champaign, n.1, 9-11 agosto, 1995
- TAN, Y.J.; YU, Z.L.; LIU, J.L. Studies on the epidemic regulation and control of soybean rust caused by *Phakopsora pachyrhizi* Sydow. Urbana-Champaign: University of Illinois, 1983. p.169-174. (INTSOY Series).
- TEIXEIRA, C.F.A.; DAMÉ, R.C.F.; BACELAR, L.C.S.; SILVA, G.M.; COUTO, R.S. Intensidade da seca utilizando índices de precipitação. **Revista Ambiente & Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v.8, n.3, 2013.
- TSCHANZ, A.T.; WANG, T.C.; TSAI, B.Y. Recent advances in soybean rust research. In: SHANMUGASUNDARAM, S.; SULZBERGER, E.W.; MCLEAN, B.I. **Soybean in tropical and subtropical cropping system**. Asian vegetable research and development center, p.237-245, 1984
- TSCHANZ, A.T.; SHANMUGASUNDARAM, S. Soybean rust. In: World soybean research conference III; Proceedings./ ed. by Shibles, R.; Boulder, CO : Westview Press. p.562-567. ref. (Text in En) (AVRDC/SP) (AVRDC Staff Publication) (SB205.S7W6 1985). Disponível em: <<http://203.64.245.61/pub-5.htm>>, acessado em 12/06/2011.

TSUKAHARA, R.Y.; HIKISHIMA, M.; CANTERI, M.G. Relações entre o clima e o progresso da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) em duas micro-regiões do Estado do Paraná. **Semina: Ciências Agrárias**, v.29,n.1, p.47-52, jan 2008

YORINORI, J.T.; PAIVA, W.M.; FREDERICK, R.D.; COSTAMILAN, L.M.; BERTAGNOLLI, P.F. Epidemics of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in Brazil and Paraguay from 2001 to 2003. **Plant Disease**, v.89, n.6, p. 675-677, junho 2005.

**ARTIGO B : FENÔMENO ENOS, PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA,  
OCORRÊNCIA DE FERRUGEM ASIÁTICA NA ENTRESSAFRA E RELAÇÃO  
COM EPIDEMIAS DA DOENÇA NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL.**

*ENSO phenomenon, rainfall, occurrence of Asian soybean rust in the off season and relation of outbreaks of the disease in Rio Grande do Sul State.*

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi estudar a influência da variabilidade da precipitação na evolução da epidemia de ferrugem asiática da soja no decorrer de 11 safras agrícolas, em 6 regiões de abrangência do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), para o Estado do Rio Grande do Sul. Foram feitas análises de regressão polinomial linear e quadrática para a obtenção da correlação entre as variáveis climáticas precipitação pluviométrica, índice padronizado de precipitação (SPI-3), índice de oscilação sul (IOS-3) e Temperatura na Superfície do Mar (SST Niño 3.4), no Oceano Pacífico Tropical, com a ocorrência de sintomas de ferrugem relatados no *site* do Consórcio Antiferrugem, entre as regiões, nas safras e nos trimestres de cada safra. Regressões foram feitas para se estimar a influência das ocorrências verificadas no período “Entressafra” sobre as ocorrências da “Safra”. Os índices que melhor explicaram a variação do número de ocorrências da doença para o período “Ano Todo” foram o SST Niño 3.4 e IOS-3, com coeficientes de determinação ( $R^2$ ) de 0,94 e 0,59, respectivamente. Para o período “Safra” os melhores índices foram SST Niño 3.4, SPI-3 e precipitação pluviométrica acumulada trimestral, com  $R^2$  da ordem de 0,95, 0,81 e 0,77, respectivamente. As ocorrências da “Safra” e “Ano Todo” têm relação com o número de ocorrências da “Entressafra”, com  $R^2$  igual a 0,98 e 0,99, respectivamente, indicando maior atenção sobre a ocorrência de ferrugem da “Entressafra” que poderão influenciar as ocorrências da “Safra”.

**Palavras-chave:** Chuva, epidemiologia, elementos meteorológicos, *Phakopsora pachyrhizi*, previsão.

## ABSTRACT

The objective of this study was to investigate the influence of variability of rainfall in the evolution of soybean rust epidemic in the course of 11 agricultural crops in 6 regions of coverage of the National Institute for Space Research (INPE) for the State of Rio Grande do Sul. We made of linear and quadratic polynomial regression analyzes to obtain the correlation between climate variables rainfall, standardized index of precipitation (SPI-3), southern oscillation index (IOS-3) and sea surface temperature (SST Niño 3.4), the Tropical Pacific Ocean, with the occurrences rust symptoms reported in the Anti-rust Consortium site, between regions, and vintages in the quarter of each harvest. Regressions were performed to estimate the influence of the events that occur in the period “off season” about the events of the “harvest”. The index that best explains the variation of disease occurrences for the period “every year” was the SST Niño 3.4 and the SPI-3, both in harvest periods as in every year period, less in the off season, with correlation coefficients ( $R^2$ ) of 0.94. For the period “harvest” the best index were SST Niño 3.4, SPI-3 and quarterly accumulated rainfall, with  $R^2$  of about 0.95, 0.81 and 0.77, respectively. The occurrences of “harvest” and “every year” periods are related to the number of “off-season” occurrences, with  $R^2$  equal 0.98 and 0.99, respectively, indicating greater attention on the occurrence of rust in the “off season” events forecast in the “harvest”.

**Key words:** Rainfall, epidemiology, meteorological elements, *Phakopsora pachyrhizi*, prediction.

## INTRODUÇÃO

O Brasil cultiva aproximadamente 32 milhões de hectares de soja, com produção estimada de 96 milhões de toneladas. O Estado do Rio Grande do Sul se destaca como o terceiro maior produtor de soja do Brasil, com produção em torno de 15 milhões de toneladas do grão, previstos na safra 2014/2015 (BRASIL/CONAB, 2014).

Um dos entraves que dificultam a plena produtividade da cultura é o complexo de doenças e dentre elas, está a ferrugem asiática da soja, causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi* Syd. & P. Syd., que tem um grande potencial destrutivo da lavoura. Em condições favoráveis à doença, são relatadas perdas ao redor de 80% da produção (YORINORI et al.; HARTMAN et al., 2005).

*Phakopsora pachyrhizi* é considerado parasita obrigatório, sobrevivendo em outras plantas hospedeiras, plantas voluntárias de soja e lavouras de soja cultivadas na entressafra. O patógeno pode vir de regiões onde se encontra o hospedeiro, multiplicando-se pelo caminho, até chegar nas demais regiões produtoras ainda não infectadas (HENNEN, 1995; PIVONIA & YANG, 2004).

A epidemia do fungo é favorecida por condições de temperatura que varia de 16 a 28 °C, com ótimo de 25 °C e com duração de molhamento foliar ótima de 12 horas. Após a infecção, lesões e pústulas com esporos podem aparecer dentro de 7 ou 8 dias (MARCHETTI et al., 1975; KOCHMAN, 1979; MELCHING et al., 1989; TAN et al., 1983; PATIL et al. 1998; BONDE et al., 2007; RUPE & SCONYERS, 2008).

Diversos autores têm confirmado a existência de alta correlação entre a severidade da epidemia com a ocorrência das primeiras chuvas e o aumento de sua intensidade (BROMFIELD, 1984; TSCHANZ et al.1984; TSCHANZ & SHANMUGASUNDARAM, 1985; BERGAMIN FILHO, 2006; DEL PONTE et al., 2006a; MEGETO et al., 2014).

Tal vinculação à precipitação, mais do que pela temperatura, se dá pelo fato de que o fungo consegue sobreviver e se reproduzir em uma larga amplitude térmica, onde a chuva propicia condições de molhamento mais prolongado, o que facilitaria a penetração do patógeno para o interior dos tecidos do hospedeiro (TSCHANZ et al., 1984; TAN et al., 1994; SINCLAIR & HARTMAN, 1995; DEL PONTE et al., 2006a; DEL PONTE, 2007; CANTERI et al. 2007a; BARNES et al.; DEL PONTE & ESKER; LI et al.; TSUKAHARA et al., 2008; SCHMITZ & GRANT, 2009).

Del Ponte (2006b) confirmou a importância da chuva no desenvolvimento da epidemia e a coloca num patamar de única variável preditora de níveis de severidade da doença no campo explicando em mais de 85 % da variação da severidade máxima.

A chuva exerce grande influência sobre a epidemia de *P. pachyrhizi*, porém não são apenas as condições do tempo ou o ambiente que regulam as epidemias, pois o progresso da doença é fortemente influenciado pela quantidade de inóculo inicial que também explica a variação da severidade da doença em semeaduras antecipadas ou tardias (CANTERI et al., 2007b; DEL PONTE, 2006b; MINCHIO, 2011).

Em revisão sobre previsão de risco da ferrugem asiática da soja, constatou-se ser a chuva responsável pela dispersão da doença em macro escala, associada à prevalência e dispersão da doença na América do Sul. Analisando as detecções no Paraná e Rio Grande do Sul, verificou-se dispersão mais lenta da doença em anos mais secos do que em anos chuvosos, que resultaram em maior risco da doença (DEL PONTE, 2006b).

Por outro lado, uma precipitação pluviométrica de maior intensidade (entre 45 a 85 mm.h<sup>-1</sup>) influenciou positivamente na remoção de esporos de *Phakopsora pachyrhizi* depositados sobre as folhas, que indicariam um possível efeito negativo da chuva (DUFAULT et al, 2010).

Megeto et al. (2014) em estudo visando modelar a influência de elementos meteorológicos sobre o número de ocorrências de ferrugem asiática de soja, obtidos no site do CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM, utilizaram a técnica da indução de árvores de decisão, na qual verificaram que os valores encontrados indicaram que para menores quantidades de chuva, tanto em número de dias com precipitação acima de 1mm, quanto para maior volume de chuva em um único dia, houve maior ocorrência da doença.

A principal fonte conhecida da variabilidade climática interanual com atuação em todo o globo é o fenômeno chamado ENOS (El Niño Oscilação Sul), o qual provoca anomalias no escoamento atmosférico em escala global (KOUSKY et al., 1984; KOUSKY & CAVALCANTI, 1984).

As anomalias climáticas extremas estão relacionadas com as fases quente (El Niño) e fria (La Niña) do ENOS. Este fenômeno tem origem no Oceano Pacífico Tropical e é resultado de uma interação oceano-atmosfera, em que ocorre uma variação da temperatura da superfície do mar (em inglês SST – Surface Sea Temperature), na parte central e junto à costa oeste da América do Sul (Niño 3, Niño 3.4 e Niño 4), em associação com os campos de pressão (referentes ao IOS – Índice de Oscilação Sul) afetando conseqüentemente o clima em diversas partes do mundo (ROPELEWSKI e HALPERT, 1987, 1989).

Vários índices têm sido utilizados para medir a intensidade do ENOS, dentre eles o IOS, que reflete a diferença de pressão atmosférica entre Taiti (17,5 °S – 149,6 °W) e Darwin (12,4 °S – 130,9 °E), localizados na Austrália. O IOS mede a intensidade da Oscilação Sul (componente atmosférico), na região Niño 3 e a SST mede a intensidade do El Niño (componente oceânica).

Os efeitos do ENOS no Brasil podem ser vistos na parte Norte da Região Nordeste e a região Sul. No sul do Brasil, a fase quente (El Niño) em geral está associada com excesso de chuva durante a primavera do primeiro ano e posteriormente o fim do outono e início do inverno do segundo ano. Na fase fria (La Niña), a precipitação apresenta-se abaixo da normal na primavera e começo do verão (BERLATO et al., 2005).

Vários estudos relacionam os impactos intra-regionais das fases ENOS sobre o regime de precipitação e seus efeitos sobre a variabilidade climática e a produtividade das culturas (FONTANA & BERLATO, 1996; RAO et al., 1990, 1997, DIAZ et al., 1998).

O índice padronizado de precipitação (em inglês Standardized Precipitation Index – SPI) desenvolvido por McKee et al. (1993) é um quantificador de seca meteorológica que vem sendo utilizado em diversas partes do mundo, sendo capaz de monitorar este fenômeno climático em diversas escalas de tempo, reconhecendo diferentes tipos de seca em sua análise, utilizando apenas dados de precipitação pluviométrica.

De acordo com Blain & Brunini (2007b) e Teixeira et al. (2013), do ponto de vista meteorológico, o índice padronizado de precipitação (SPI) é uma das ferramentas mais adequadas para a quantificação da seca, sendo utilizado em diversas partes do mundo em programas e ações governamentais que visam realizar a análise de riscos e adotar medidas que diminuam o impacto socioeconômico causado pelas seca. O evento seca começa quando o SPI torna-se negativo e atinge o valor de -1 e termina quando este volta a apresentar valores positivos.

O SPI foi baseado na precipitação padronizada, que é simplesmente a diferença da precipitação atual com a precipitação média de um período específico, dividido pelo desvio padrão, onde a média e o desvio padrão são determinados a partir de histórico de dados, ajustados a uma distribuição gama incompleta.

Com base neste pressuposto, Blain (2011), em seu trabalho buscou adaptar o índice padronizado de precipitação (SPI) aos interesses agrometeorológicas, principalmente ligadas à condição de seca agrícola, onde o período mínimo para a ocorrência deste evento seria de 10 dias déficit de precipitação. O pesquisador avaliou que o parâmetro balanço hídrico,

caracterizado pela diferença entre a precipitação pluvial (P) e a evapotranspiração potencial (ETP), como importante ferramenta para o monitoramento de seca, proposto pelo modelo SPI, voltado aos interesses agrícolas.

Um projeto que tornavam disponíveis as informações sobre a ocorrência de ferrugem asiática da soja em todo o território brasileiro, através de uma plataforma de dados, visível em *website*, foi idealizado e colocado em prática pelo Laboratório de Epidemiologia de Plantas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e o Grupo de Pesquisa Mosaico da Universidade de Passo Fundo – RS) responsável pela construção e manutenção do sistema, que foi denominado CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM. A EMBRAPA-SOJA, ficou responsável pela coordenação e o gerenciamento do conteúdo do website. A alimentação do sistema é feita por laboratórios e pesquisadores devidamente credenciados pelo consórcio (BRASIL/CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM, 2015).

As informações geradas pela plataforma do CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM, registraram variação anual do número de eventos ligados à constatação dos sintomas de ferrugem asiática no Brasil. Por exemplo, na safra 2009/2010, foram registrados 2.370 eventos enquanto na safra 2010/2011, foram registrados 707.

Apesar de ocorrerem variações anuais de relatos, que podem estar relacionadas desde a falta de recursos para se ir a campo para obter informações até o comodismo dos técnicos, observou-se o interesse de diversas instituições na divulgação dos dados, onde os mesmos serviram de base para o trabalho de Megeto et al. (2014).

Este trabalho tem por objetivo relacionar a variabilidade interanual da precipitação pluviométrica, a partir de valores de precipitação pluviométrica acumulada, índice padronizado de precipitação (SPI), índice de oscilação sul (IOS) e índice de Temperatura na Superfície do Mar (SST), com as ocorrências da “entressafra” e seus efeitos sobre as ocorrências do período “Safra”, relatadas de ferrugem asiática da soja, disponibilizados na plataforma do CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM, para o Estado do Rio Grande do Sul.

## MATERIAL E MÉTODOS

### DADOS METEOROLÓGICOS

Os dados utilizados de IOS, da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) encontram-se disponíveis na internet, <<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/>>. Os dados lá disponíveis estão na escala temporal mensal e trimestral e foram calculados utilizando anomalias normalizadas das pressões atmosféricas na superfície do mar em Darwin e Taiti.

Para o estudo da SST no número de ocorrências de ferrugem asiática, foi considerada uma região sobre o Oceano Pacífico Tropical, definida como Niño 3.4, compreendida entre as latitudes de 5° N a 5° S e longitudes de 170° W a 120° W para o acompanhamento das fases do ciclo ENOS, para a qual estão disponíveis os índices de anomalias trimestrais no site do NOAA.

As regiões Niño 3.4 e Niño 4 abrangem a área na qual ligeiros aumentos ou diminuições em SST podem ter um grande impacto onde a convecção é encontrada, no Pacífico ocidental e central e são as áreas-chave para o monitoramento e previsão de eventos ENOS. Os dados de SST Niño 3.4 em escala temporal trimestral foram obtidos diretamente no site do NOAA (EUA/NOAA, 2015).

O cálculo do SPI envolve o ajuste da série histórica de precipitação a uma distribuição de probabilidade Gama, seguido de transformação (mapeamento) do percentil correspondente ao valor de precipitação acumulada observada em anomalia padronizada de uma distribuição normal (Gaussiana) com média igual a zero e desvio padrão igual a um.

O SPI é determinado a partir das funções de densidade de probabilidade que descrevem as séries históricas de precipitação nas diferentes escalas de tempo utilizadas (1 a 60 meses). Foram consideradas para fins de ajuste, as distribuições normal e gama2. Conhecida (ajustada) a função de distribuição de probabilidade acumulada, a chance de uma dada quantidade de precipitação observada é obtida e o SPI é computado usando a distribuição inversa (McKEE et al., 1995). No caso das precipitações acumuladas num dado intervalo de tempo (1, 3, 6, 9, 12, 48 e 60 meses) terem uma distribuição normal, o SPI é simplesmente a variável reduzida da distribuição normal  $z_i$ :

$$\text{SPI} = z_i = (P_i - \bar{A}_i) / \sigma_i$$

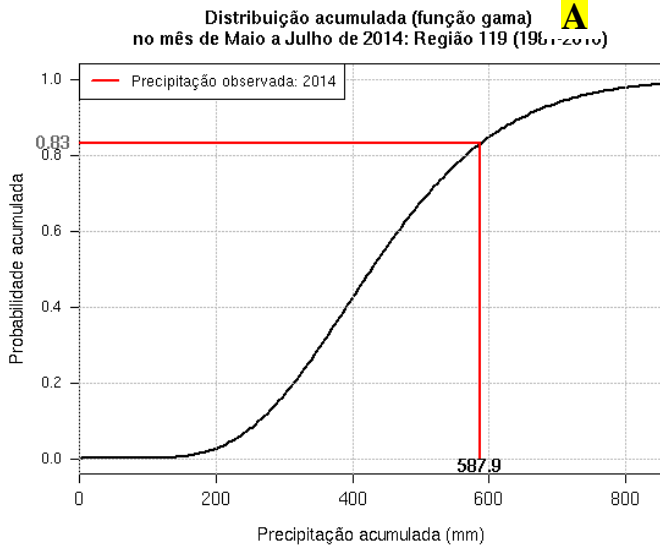
na qual  $P_i$  é a precipitação observada e  $\bar{A}_i$  e  $\sigma_i$  respectivamente, a média e o desvio padrão da série ajustada.

O produto disponibilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), mostra inicialmente a curva Gama da distribuição de probabilidade acumulada da precipitação ajustada utilizando os dados históricos de precipitação de 1981 a 2010, indicando o valor da chuva observada no período em questão (eixo X) e o valor de probabilidade de ocorrência deste ou inferior valor (eixo Y). O segundo gráfico expressa a curva de distribuição normal (Gaussiana) indicando o valor do índice SPI (eixo X) associado ao percentil correspondente ao valor de precipitação acumulada observado na data em questão (eixo Y) (Figura 1).

De acordo com os dados do INPE, o SPI está disponível nas escalas de tempo de 1, 3, 6, 12, 24 e 48 meses, significando o período durante o qual se acumula o valor de precipitação: o SPI-1 corresponde à precipitação mensal, o SPI-3 corresponde à precipitação acumulada em 3 meses, e assim por diante.

Para investigar as relações entre o tempo e o aparecimento de sintomas de ferrugem asiática da soja nas regiões do Estado do Rio Grande do Sul, foram utilizados os dados existentes no banco de dados do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos/ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE), Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e Centros Estaduais/Regionais de Meteorologia, disponibilizados no site do CPTEC/INPE ([www.cptec.inpe.br/clima](http://www.cptec.inpe.br/clima)), com período disponibilizado de dados da safra 2004/2005 até 2014/2015.

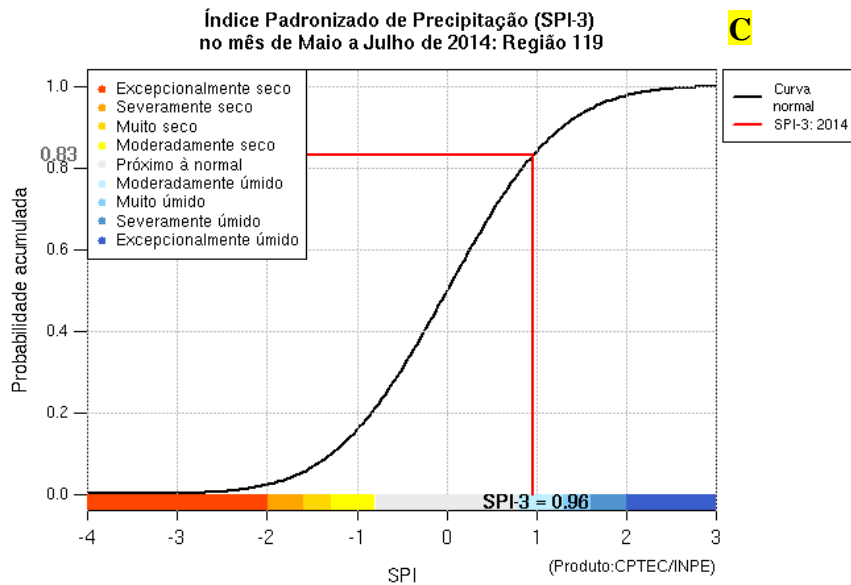
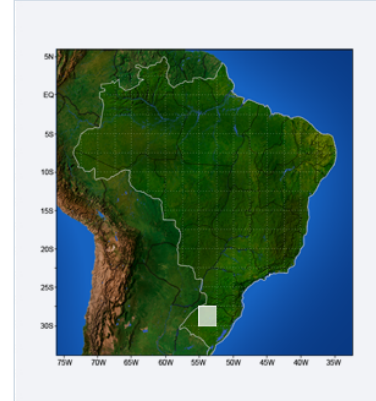
ÍNDICE PADRONIZADO DE PRECIPITAÇÃO



INFORMAÇÕES

→ Motivação

SELECIONE A ÁREA - REGIÃO 119



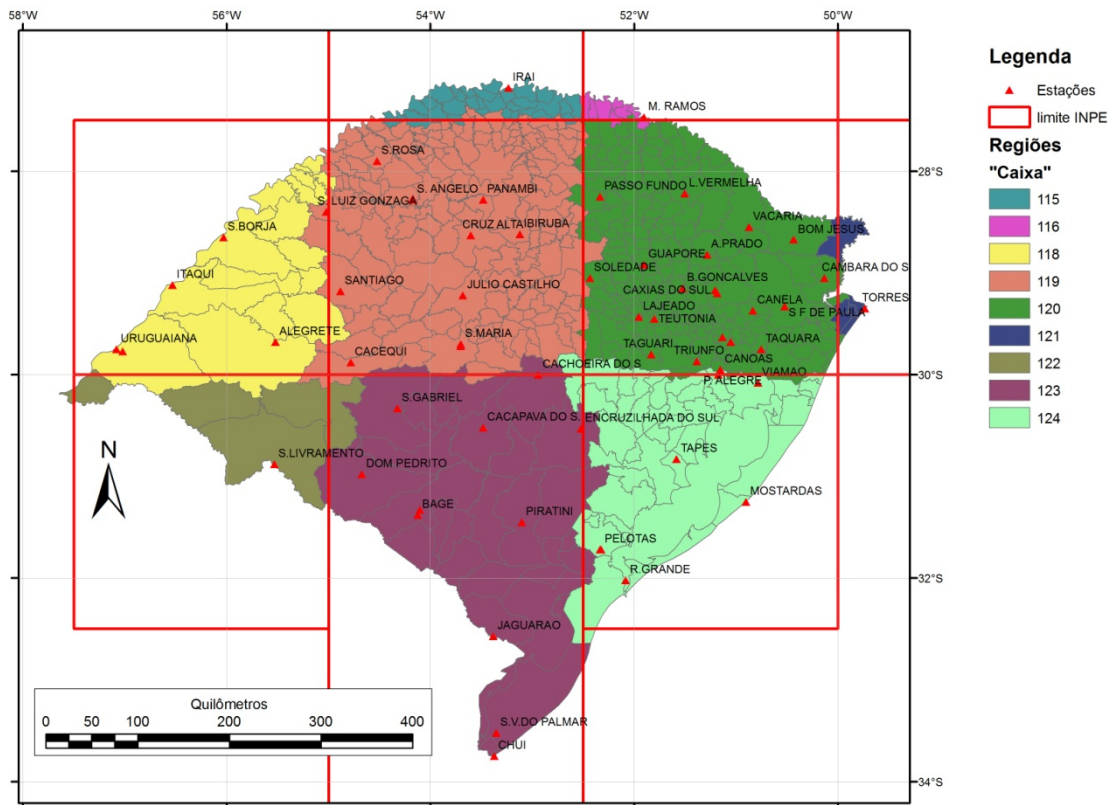
Fonte de dados: CPTEC/INPE, INMET e Centros Regionais de Meteorologia.

**Figura 1** – Exemplo de visualização no site CPTEC/INPE dos dados de SPI-3 (trimestral) referente aos trimestre MJJ (Maio-Junho-Julho) de 2014, para a região (caixa) 119, correspondente à região noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (BRASIL/INPE, 2015), onde **A** refere-se ao gráfico da precipitação acumulada no trimestre Maio-Junho-Julho de 2014 (mm) versus probabilidade de ocorrência (%), frente ao histórico de precipitação, normal climatológica (1981-2010); **B**, região 119 (2,5° x 2,5°), do INPE, sobre o Estado do Rio Grande do Sul, e **C**, gráfico de propabilidade de ocorrência da precipitação acumulada verificada e SPI-3 (Maio-Junho-Julho).

## ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

Os dados de precipitação acumulada trimestral foram obtidos a partir do site do CPTEC/INPE são referentes a 61 estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e Centros Estaduais/Regionais de Meteorologia distribuídas ao longo do Estado do Rio Grande do Sul, localizadas nos municípios de Alegrete, Antonio Prado, Bagé (2estações), Bento Gonçalves, Bom Jesus, Caçapava do Sul, Cacequi, Cachoeira do Sul, Cambará do Sul, Campo Bom, Canela, Canoas, Caxias do Sul (2 estações), Chui, Cruz Alta, Dom Pedrito, Encruzilhada do Sul, Guaporé, Ibiruba, Irai, Itaqui, Jaguarão, Júlio de Castilho, Lagoa Vermelha, Lajeado, Marcelino Ramos, Mostardas, Novo Hamburgo, Panambi, Passo Fundo, Pelotas (2 estações) Piratini, Porto Alegre (2 estações), Rio Grande, São Francisco de Paula, Santa Maria (2 estações), Santa Rosa, Santa Vitória do Palmar, Santana do Livramento, Santiago, Santo Ângelo (2 estações), São Borja, São Gabriel, São Luiz Gonzaga, Soledade, Taquari, Tapes, Taquara, Teutônia, Torres, Triunfo, Uruguaiana (2 estações), Vacaria, Viamão.

Os dados de precipitação pluviométrica acumulada (mm) são produtos disponibilizados através de visualização gráfica, com o valor SPI-3 calculado para a escala temporal de 3 meses (Trimestre), a partir de janeiro de 1981 até os meses do ano corrente, abrangendo 124 regiões (caixas de 2,5° x 2,5° de latitude e longitude sobre o Brasil. As regiões 115, 118, 119, 120, 123 e 124, do INPE, cobrem o Estado do Rio Grande do Sul.



**Figura 2** Mapa do Estado do Rio Grande do Sul, com a localização das regiões estabelecidas pelo INPE e as estações meteorológicas que coletam dados para a base do INPE. Fonte: BRASIL/INPE(2015), adaptado por Caviglione (2015).

#### OCORRÊNCIA DE SINTOMAS: CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM

As informações relacionadas à ocorrência de sintomas de ferrugem asiática da soja nas diferentes regiões do Estado do Rio Grande do Sul, foram obtidas a partir do CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM (<<http://www.consorcioantiferrugem.net>>), para o período total de dados existentes no site, iniciando pela safra 2004/2005 até 2014/2015.

Os eventos foram agrupados por mês de ocorrência e posteriormente, somados para um espaço temporal de 3 meses. O agrupamento trimestral de ocorrências, de forma sazonal, ficaram distribuídos pelos trimestres: NDJ (Novembro-Dezembro-Janeiro), DJF (Dezembro-Janeiro-Fevereiro), JFM (Janeiro-Fevereiro-Março), FMA (Fevereiro-Março-Abril), MAM (Março-Abril-Maio), AMJ (Abril-Maio-Junho), MJJ (Maio-Junho-Julho), JJA (Junho-Julho-Agosto), JAS (Julho-Agosto-Setembro), ASO (Agosto-Setembro-Outubro), SON (Setembro-Outubro-Novembro), OND (Outubro-Novembro-Dezembro).

Os dados por cidade onde a ferrugem foi diagnosticada pelo Laboratório credenciado pelo CONSÓRCIO, foram agrupados em regiões definidas pela base de dados do INPE, sendo: 115, 118, 119, 120, 123 e 124, conforme demonstrado na Tabela 1 e Figura 2.

Foi utilizada regressão polinomial linear (FERREIRA, 2005) e polinomial quadrática, visando analisar a relação entre o número de ocorrências acumuladas nos trimestres, verificadas em diferentes períodos: “Ano Todo”, “Safrá” e “Entressafrá”, com os índices de variabilidade climática: precipitação pluviométrica acumulada trimestral, SPI-3, IOS-3 e SST Niño 3.4, nos períodos: “Ano Todo” (todos os trimestres do ano), “Safrá” [trimestres: Agosto-Setembro-Outubro (ASO), Setembro-Outubro-Novembro (SON), Outubro-Novembro-Dezembro (OND), Novembro-Dezembro-Janeiro (NDJ), Dezembro-Janeiro-Fevereiro (DJF), Janeiro-Fevereiro-Março (JFM) e Fevereiro-Março-Abril (FMA)] e “Entressafrá” [trimestres: Março-Abril-Maio (MAM), Abril-Maio-Junho (AMJ), Maio-Junho-Julho (MJJ), Junho-Julho-Agosto (JJA) e Julho-Agosto-Setembro (JAS)], para as regiões definidas pelo INPE. Os períodos “Safrá” e “Entressafrá” foram definidos de acordo com BRASIL/CONAB(2014).

A variável resposta, definida pelo número de ocorrências, foi denominada de Y. Os índices foram plotados no eixo do X e comparados um a um com a variável resposta. Além do coeficientes de determinação ( $R^2$ ) também foi analisada a significância da regressão obtida para testar a validade do modelo.

Para as regressões lineares que obtiveram coeficiente de determinação acima de 0,70, buscou-se uma melhor explicação do modelo, com a aplicação de regressão polinomial quadrática aos mesmos dados utilizados na regressão linear.

Adicionou-se um outro componente ao trabalho que foi a relação do número de ocorrências de sintomas de ferrugem em uma determinada região, safra ou trimestre, com o número ocorrências subsequentes em outra região, safra ou trimestre. Da mesma forma, foram calculados coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e utilizada a regressão linear e polinomial.

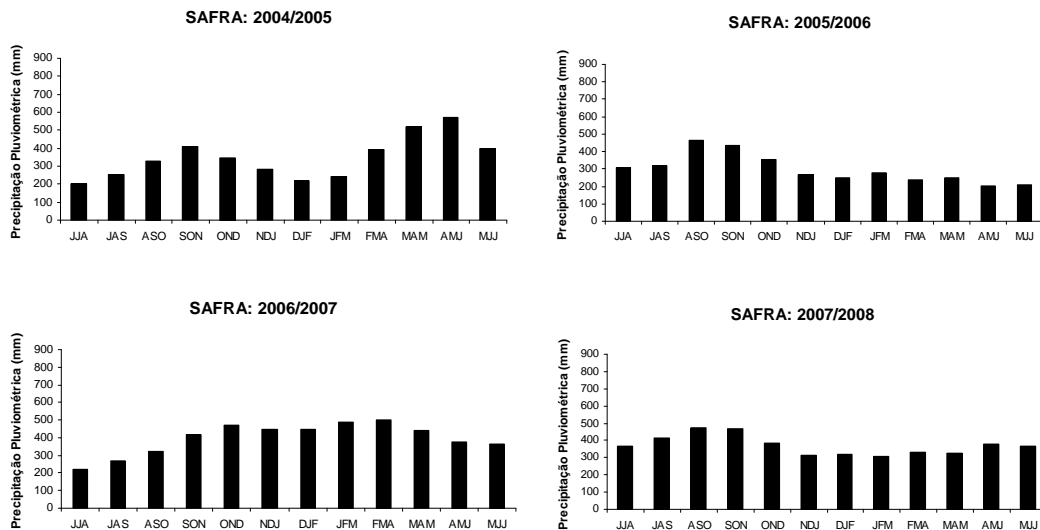
**Tabela 1** – Distribuição dos municípios com relato de ocorrência de ferrugem no CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM, nas safras 2004/2005 a 2014/2015, de acordo com sua macrorregião, para o Estado do Rio Grande do Sul, segundo BRASIL/INPE (2015).

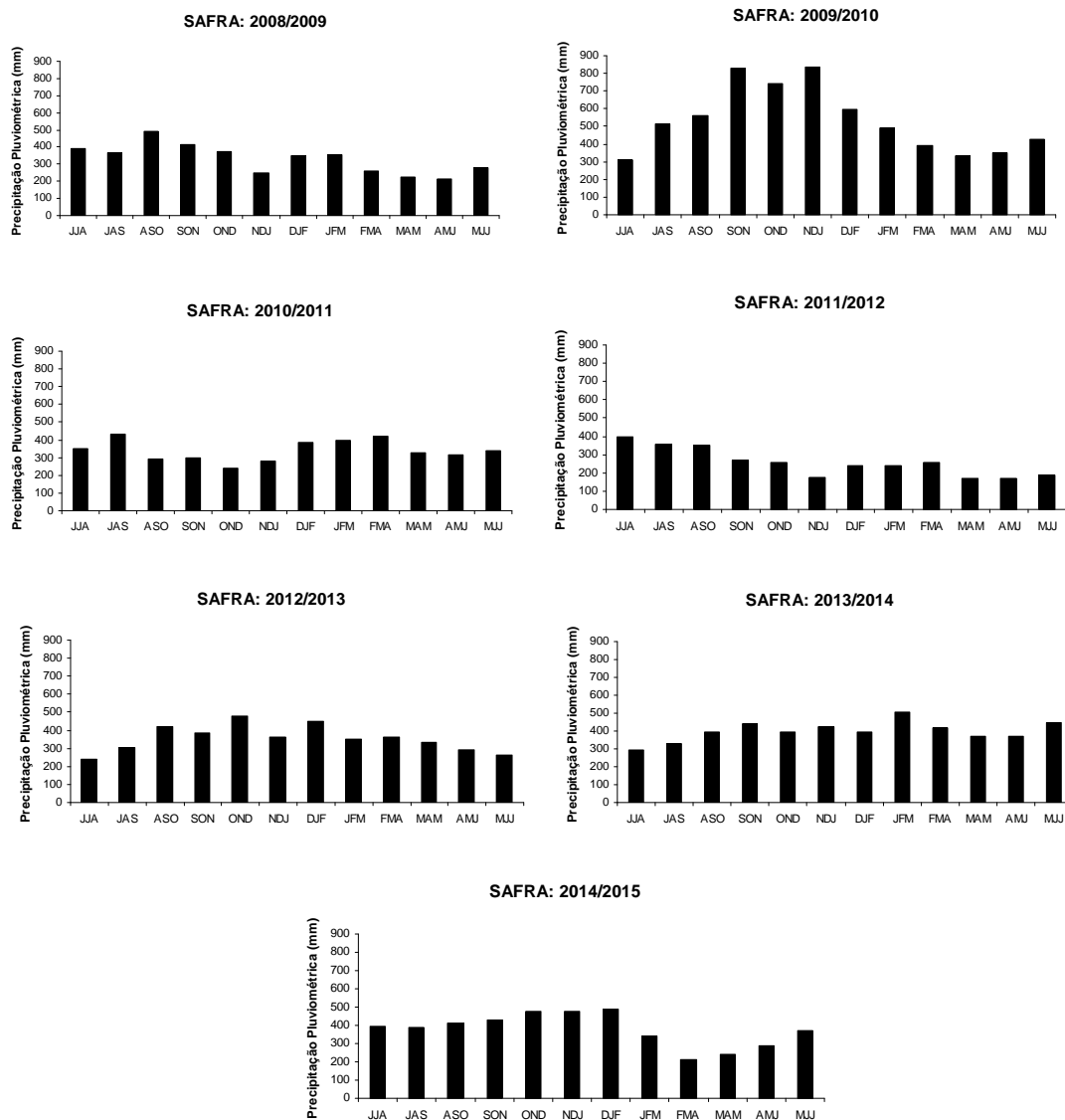
REGIÃO/ MUNICÍPIO	REGIÃO/ MUNICÍPIO	REGIÃO/ MUNICÍPIO	REGIÃO/ MUNICÍPIO	REGIÃO/ MUNICÍPIO	REGIÃO/ MUNICÍPIO	REGIÃO/ MUNICÍPIO	REGIÃO/MUNI CÍPIO	REGIÃO/ MUNICÍPIO
<b>Região 115</b>	<b>Região 118</b>	<b>Região 119</b>	<b>Região 119 (cont)</b>	<b>Região 119(cont)</b>	<b>Região 119(cont.)</b>	<b>Região 120</b>	Região 120 cont Lagoa Vermelha Lajeado Marau Mato Castelhano	<b>Região 123</b>
Barra do Guaritá	Alegrete	Ajuricaba	Dilermando de Aguiar	Liberato Salzano	Salto do Jacuí	Água Santa André da Rocha		<b>Arroio Grande</b>
Caçara	Dezesseis de Novembro	Almirante Tamandaré do Sul	Dois Irmãos das Missões	Mato Queimado	Santa Bárbara do Sul	Arroio do Meio	Mato Leitão	Caçapava do Sul
Derrubadas	Garruchos	Alto Alegre	Engenho Velho	Não-me-Toque	Santa Maria	Arvorezinha	Maximiliano de Almeida	Cachoeira do Sul
Doutor Mauricio Cardoso	Itaqui	Augusto Pestana	Entre Rios do Sul Entre-Ijuís	Nova Boa Vista Nova Esperança do Sul	Santa Rosa	Áurea Barão de Cotegipe	Montauri	Capão do Leão
Faxinalzinho	Maçambará	Boa Vista das Missões	Entre-Ijuís		Santiago	Barracão	Muitos Capões	Dom Pedrito
Frederico Westphalen	Manoel Viana	Boa Vista do Cadeado	Ernestina	Nova Palma	Santo Ângelo	Campestre da Serra	Nicolau Vergueiro	Encruzilhada do Sul
Gramado dos Loureiros	Pirapó	Boa Vista do Incra		Nova Ramada	Santo Antonio do Planalto	Capão Bonito do Sul	Nova Alvorada	Jaguarão
Irai	São Borja	Bossoroca	Espumoso	Novo Barreiro	Santo Augusto	Casca	Nova Prata	Morro Redondo
Nonoai	São Francisco de Assis	Bozano	Estrela Velha	Novo Cabrais	Santo Cristo	Caseiros	Passo Fundo	Pedro Osório
Pinheiro do Vale	São Nicolau	Braga	Eugênio de Castro	Palmeira das Missões	São José das Missões	Centenário	Pinhal da Serra	Piratini
Rio dos Índios	Unistalda	Campinas do Sul	Fortaleza dos Valos	Panambi	São Luiz Gonzaga	Charrua	Protásio Alves	Santa Vitória do Palmar
Taquaruçu do Sul	Uruguaiana	Campo Novo	Girúá	Paraíso do Sul	São Martinho da Serra	Ciriaco	Quatro Irmãos	Santana da Boa Vista
Tenente Portela		Campos Borges	Guarani das Missões	Passa Sete	São Miguel das Missões	Colinas	Roca Sales	São Gabriel
Vista Alegre		Candelária	Horizontalina	Pejuçara	São Paulo das Missões		Sananduva	
Vista Gaúcha		Capão do Cipó	Humaitá	Pinhal Grande	São Pedro das Missões	Coxilha Cruzeiro do Sul	Santa Cecília do Sul	Vila Nova do Sul
		Carazinho	Ibirama	Pontão	São Pedro do Sul	Erebango	Santo Antonio da Palma	
		Catuípe	Ibirubá	Ponte Preta	Sarandi	Erechim	Santo Expedito do Sul	
		Cerro Branco	Ijuí	Porto Lucena	Sede Nova	Esmeralda	São João da Urtiga	
		Cerro Largo	Independência	Porto Mauá	Segredo	Estação	São José do Couro	
		Chapada	Itaara	Quevedos	Selbach	Florian Peixoto	Serafina Correa	
		Chiapetta	Ivorá	Quinze de Novembro	Silveira Martins	Gaurama	Sertão	
		Colorado	Jaboticaba	Redentora	Soledade	Gentil	Tapejara	
		Condor	Jacutinga	Restinga Seca	Tapera	Getúlio Vargas	Teutônia	
		Constantina	Jaguari	Rolador	Três de Maio	Ibiaçá	Vacaria	
		Coqueiros do Sul	Jari	Ronda Alta	Três Palmeiras	Ibiraiaras	Vale Verde	
		Coronel Barros	Jóia	Rondinha	Trindade do Sul	Ibirapuitã	Veranópolis	
		Coronel Bicaço	Sagrada Família	Tupanciret		Igrejinha	Vespasiano Correa	
		Júlio de Castilhos	Lagoa Bonita do Sul	Saldanha Marinho	Tuparendi	Ipê	Viadutos	
		Cruz Alta			Victor Graeff	Ipê	Vila Lângaro	
					Victória das Missões	Ipiranga do Sul	Vila Maria	

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA

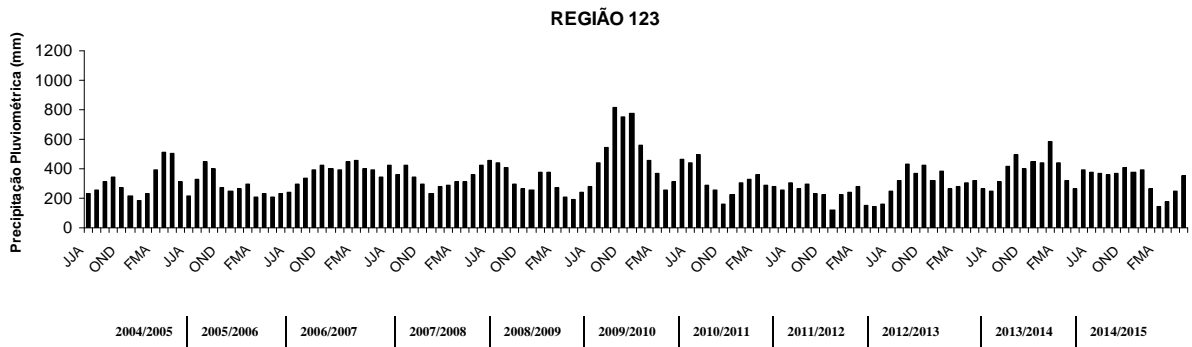
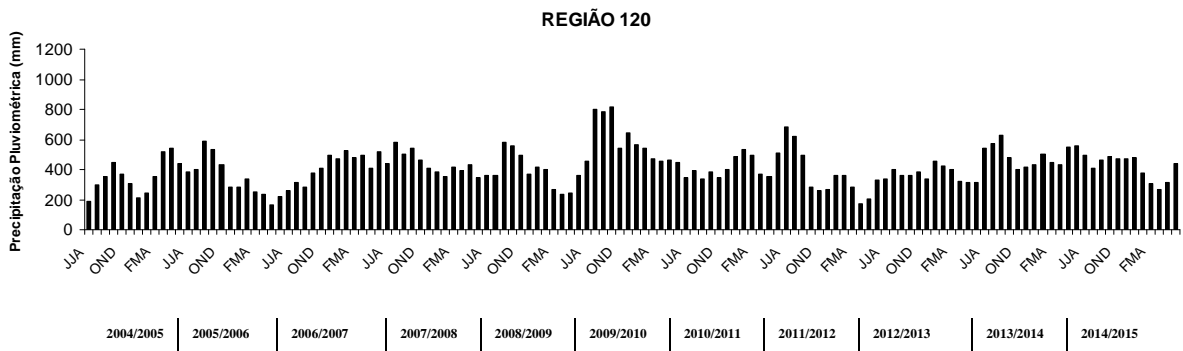
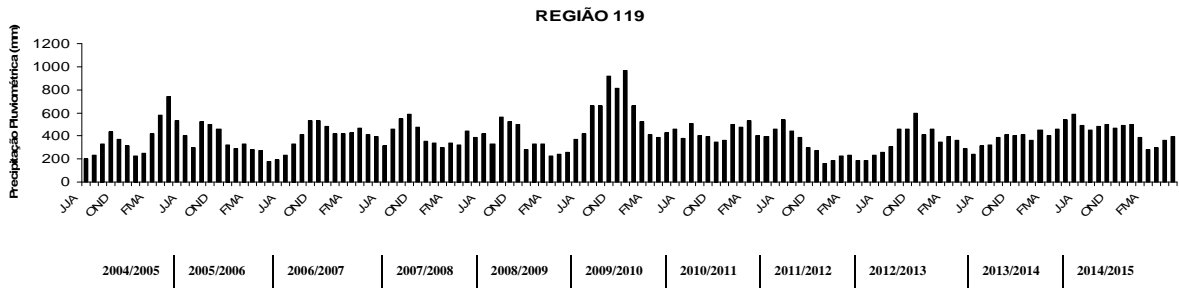
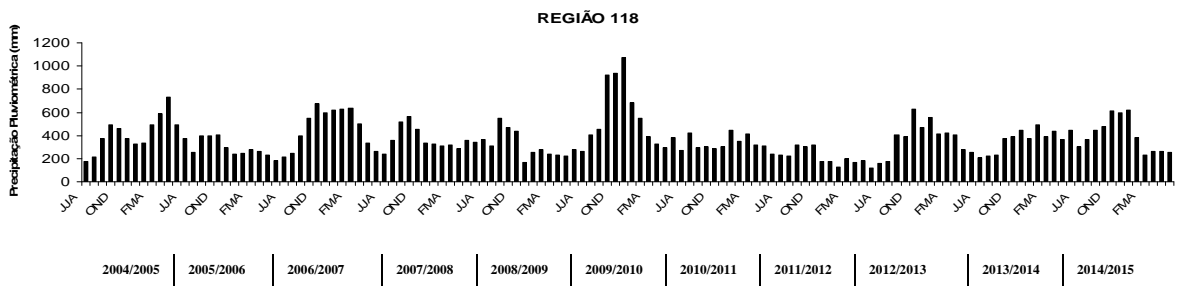
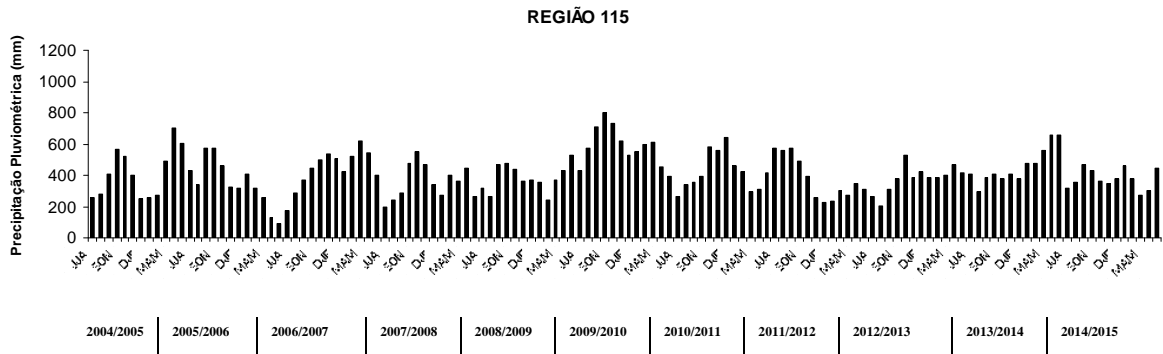
Os dados de precipitação pluviométrica acumulada para os trimestres do ano, estão apresentados na Figura 3, para todas as safras estudadas. Observa-se que nas safras 2004/2005, 2005/2006, 2007/2008, 2008/2009 e 2011/2012 houve menor volume de chuva acumulado nos trimestres Novembro-Dezembro-Janeiro (NDJ) a Janeiro-Fevereiro-Março (JFM). As safras 2004/2005 e 2006/2007, apresentaram menor volume chuva acumulado no início da safra, correspondente aos trimestres Julho-Agosto-Setembro (JAS) a Agosto-Setembro-Outubro (ASO), voltando a aumentar o volume de precipitação pluviométrica após este período para as safras em questão. As safras 2004/2005, 2010/2011 e 2011/2012 apresentaram sinais de veranico, por registrarem diminuição da precipitação pluviométrica para os trimestres Novembro-Dezembro-Janeiro (NDJ) e Dezembro-Janeiro-Fevereiro (DJF). Pode se dizer que para a safra 2009/2010 foi a mais chuvosa, apresentando precipitação pluviométrica trimestral superior a 800 mm no decorrer dos meses correspondentes ao período de safra.

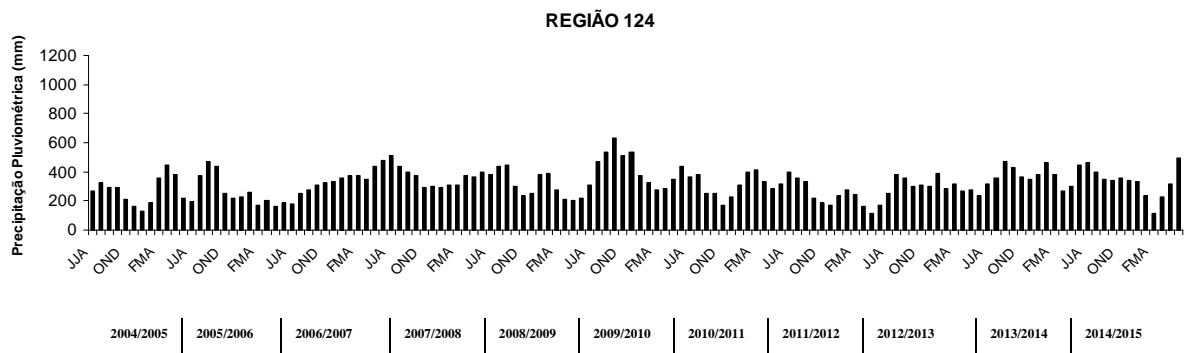




**Figura 3** Precipitação pluviométrica acumulada trimestral (mm) nas safras de 2004/2005 a 2014/2015, para o Estado do Rio Grande do Sul.

Analisando períodos de ocorrências dos fenômenos El Niño e La Niña, para as diferentes regiões definidas pelo INPE (Figura 4), as safras 2004/2005, 2006/2007 e 2009/2010 foram consideradas de ocorrência de El Niño de fraca intensidade, enquanto que na safra 2007/2008, houve o evento La Niña de forte intensidade. Em anos de El Niño espera-se maior volume pluviométrico na região sul do Brasil e em anos de La Niña o oposto disto (KOUSKY et al., 1984). Para o Estado do Rio Grande do Sul os efeitos do fenômeno El Niño foi evidenciada nas safras 2006/2007 e 2009/2010. Na safra 2007/2008, La Niña foi evidente no período após o trimestre Outubro-Novembro-Dezembro (OND).



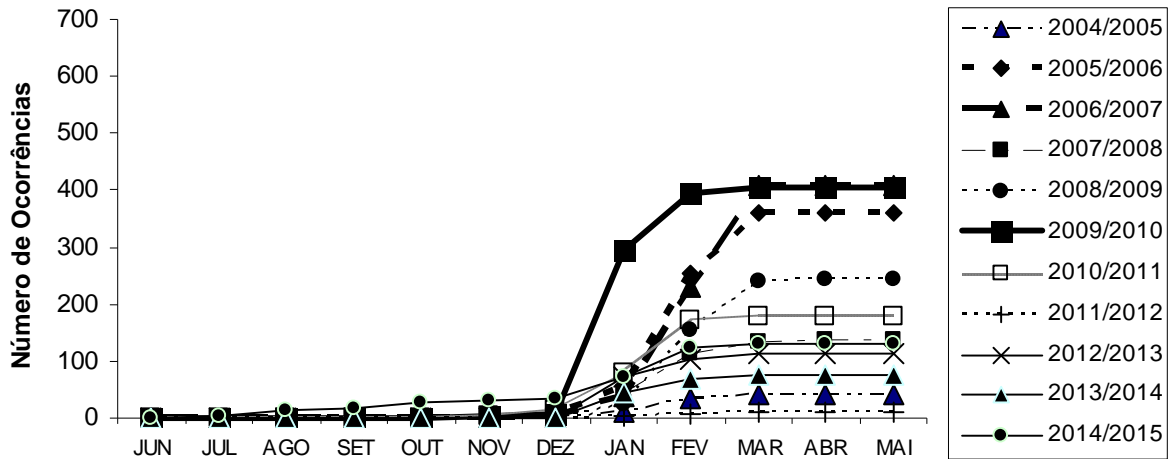


**Figura 4** Precipitação pluviométrica acumulada trimestral (mm) para as regiões 115, 118, 119, 120, 123 e 124, definidas pelo INPE nas safras 2004/2005 a 2014/2015 para o Estado do Rio Grande do Sul.

Os dados apresentados na Figura 4 demonstram que para todas as regiões a precipitação pluviométrica acumulada tende a diminuir nos trimestres Maio-Junho-Julho (MJJ), Junho-Julho-Agosto (JJA), Julho-Agosto-Setembro (JAS) e Agosto-Setembro-Outubro (ASO), porém não alcança níveis abaixo dos 200mm, com exceção da região 115, onde a precipitação pluviométrica no final da safra 2005/2006 e início da safra 2006/2007 ficou próximo dos 100mm. Todas as regiões apresentaram boa distribuição de chuva durante todos os trimestres do ano. A antecipação de semeadura em como fator limitante a temperatura mais baixa para os períodos de Julho-Agosto-Setembro (JAS) e Agosto-Setembro-Outubro (ASO), o que dificulta a germinação das sementes ou sujeitas as plântulas a geadas tardias. O Estado do Rio Grande do Sul optou por não estabelecer o período de vazio sanitário, por considerar que as condições climáticas da entressafra não permitem o desenvolvimento da soja. Desta forma, os produtores iniciam a semeadura da soja logo que as condições de temperatura e precipitação pluviométrica sejam favoráveis à cultura.

A Figura 5 descreve as ocorrências de ferrugem asiática relatadas no CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM para as safras 2004/2005 a 2014/2015, em todos os meses do ano. Pode-se observar que as safras 2009/2010, 2005/2006, 2006/2007 e 2008/2009, apresentaram o maiores ocorrências, em ordem decrescente. Os primeiros relatos na safra 2009/2010 e 2010/2011 foram descritos no mês de Novembro enquanto para as demais safras, estes relatos iniciaram o seu início nos meses de Dezembro-Janeiro. A safra 2008/2009 apresentou ocorrências até o mês de Maio. A safra 2014/2015, diferentemente das demais safras, não apresentou ocorrência apenas no trimestre Abril-Maio-Junho (AMJ), indicando maior possibilidade de sobrevivência do patógeno no campo, em plantas guaxas que sobreviveram

no campo no período de entressafra. Esperava-se que somente as safras 2006/2007 e 2009/2010 apresentassem maiores ocorrências por serem anos de El Niño, o que não ficou tão evidente devido ao fato que as safras 2005/2006 e 2006/2007 também apresentaram número semelhante de relatos às safras caracterizadas como de influência de El Niño.



**Figura 5** Número de ocorrências de ferrugem asiática da soja relatados nos diversos meses do ano nas safras 2004/2005 a 2014/2015, obtidos no banco de dados do CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM, para o Estado do Rio Grande do Sul (BRASIL/CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM (2015)).

Em função da ausência de relação entre precipitação pluviométrica acumulada e relatos de ocorrência de ferrugem, buscou-se variáveis para tentar explicar o baixo número de relatos para as demais safras onde houve precipitação pluviométrica semelhante aos anos de El Niño.

Na Tabela 2 estão descritos detalhadamente os índices responsáveis pela variabilidade interanual do clima e sua possível relação com o número de eventos de ferrugem asiática disponibilizados no site do CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM.

A análise do resumo feito pela Tabela 2 indicou que para as condições do Estado do Rio Grande do Sul, tanto para as Regiões como para as Safras, o relato de ocorrências nos meses considerados “Safr”, “Entressafra” e “Ano Todo” não indicou linearidade em razão dos baixos coeficientes de determinação e sem a manifestação de significância para a regressão.

A regressão é significativa quando se chega mais detalhadamente na escala temporal de Trimestres do que na escala temporal de Safra ou mesmo na escala espacial de Região.

O número de relatos de ocorrências no “Ano Todo” teve relação com o IOS-3 e com o SST Niño 3.4 dentro de cada trimestre, independentemente da região ou da safra. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) para o IOS-3 e SST Niño 3.4 foi de 0,52 e 0,90, respectivamente, ao nível de 1% de significância. Para o período “Safra”, o indicador SST Niño 3.4 continua se mantendo relacionado com o número de ocorrências, seguido agora pelos indicadores Precipitação Pluviométrica média na safra e SPI-3 médio na safra, com  $R^2$  de 0,95, 0,77 e 0,72 respectivamente, ao nível de 1% de significância. Os índices analisados não alcançaram bons resultados na relação com os relatos de ocorrência da doença na escala temporal de Trimestres, no período “Entressafra”.

Estes resultados demonstraram que nas condições do Rio Grande do Sul, as anomalias de temperatura da água na superfície do mar (SST) verificadas na faixa do Oceano Pacífico Tropical proporcionaram maior sensibilidade na relação com o número de ocorrências de ferrugem asiática relatado no site do CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM do que a pressão atmosférica (IOS) verificada nesta mesma região do Oceano Pacífico.

Pode-se dizer que a chuva, representada pelos valores de precipitação pluviométrica, SPI-3 e SST Niño 3.4, comprovou estar relacionada diretamente com o relato das ocorrências do site do CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM confirmando a sua importância no desenvolvimento da epidemia da ferrugem asiática da soja (TSCHANZ et al.1984; TSCHANZ & SHANMUGASUNDARAM, 1985; BERGAMIN FILHO, 2006; DEL PONTE et al., 2006a; DEL PONTE, 2006b; TSUKAHARA et al., 2008; MEGETO et al., 2014).

Os resultados demonstrados na Tabela 2 indicaram que os índices SST Niño 3.4, Precipitação acumulada e SPI-3, na escala temporal para 3 meses, foram os mais indicados para explicar a relação número de ocorrências de ferrugem asiática da soja, descritos no site do CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM, para cada trimestre estudado, tanto para período “Ano Todo” como para “Safra”, não sendo recomendados para o período “Entressafra”, sendo o SST Niño 3.4 o que apresentou os maiores coeficientes de determinação para as condições do Estado do Rio Grande do Sul.

Os índices SST Niño 3.4, Precipitação Pluviométrica e SPI-3 possuem relação com a ocorrência com os fenômenos El Niño e La Niña, para o extremo sul e região norte/nordeste do Brasil. No extremo sul, quando as anomalias de SST Niño 3.4 são positivas e anomalias de SPI-3 são positivas, ocorre um volume elevado de precipitação pluviométrica caracterizando fase El Niño. Quando ocorre o inverso para estes índices, no extremo sul ocorre o fenômeno La Niña. A ocorrência do fenômeno El Niño na região sul ocasiona chuvas em grandes proporções, na região norte/nordeste, este mesmo fenômeno significa ano de muita seca.

A evidência do fenômeno La Niña para a região sul é caracterizada por período longo de estiagem, o que para a região norte/nordeste brasileira, este mesmo fenômeno é indicativo de um ano farto de chuvas com boas perspectivas de lavouras com abundante produção.

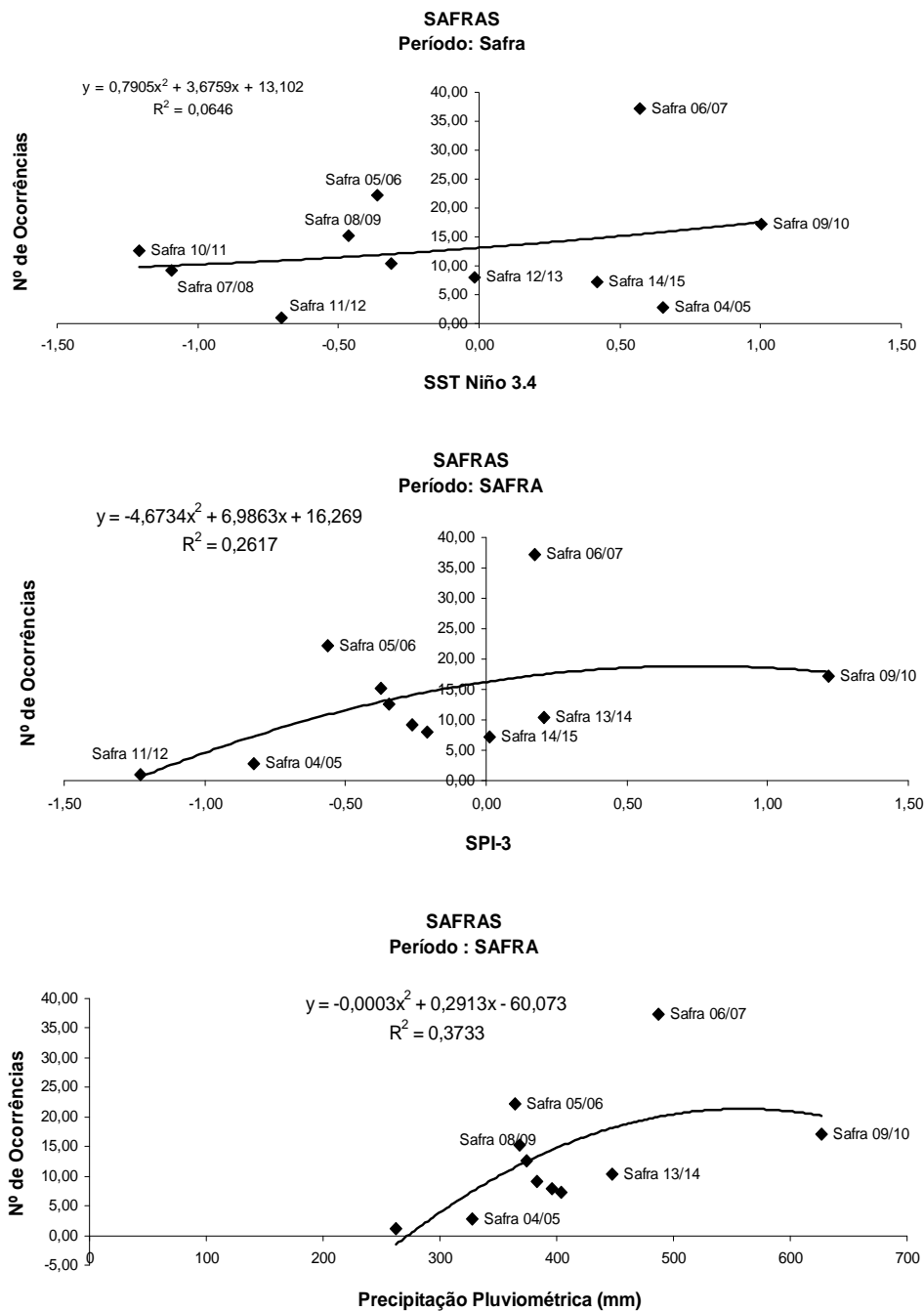
Como o Estado do Rio Grande do Sul situa-se no extremo sul brasileiro, tanto as ações dos fenômenos El Niño como La Niña são claramente evidenciadas neste estado, o que ficou demonstrado pela forte relação existente entre os índices SST Niño 3.4, Precipitação Pluviométrica e SPI-3 para este Estado.

**Tabela 2** Coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de regressões lineares geradas entre o relato de ocorrência de ferrugem asiática, na safra, na entressafra e no total do ano, no site do CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM e os índices: Precipitação pluviométrica acumulada (acc), SPI-3, IOS-3 e SST Niño 3.4, para todas as regiões, safras e trimestres analisados, no Estado do Rio Grande do Sul.

ÍNDICE	Ocorrências no "Ano Todo"			Ocorrências na "Saфра"			Ocorrências na "Entressafra"		
	REGIÕES	SAFRAS	TRIMESTRES	REGIÕES	SAFRAS	TRIMESTRES	REGIÕES	SAFRAS	TRIMESTRES
Precipitação pluviométrica total acc	0,26 <sup>ns</sup>	0,14 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,26 <sup>ns</sup>	0,17 <sup>ns</sup>		0,21 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	
Precipitação pluviométrica safra acc	0,16 <sup>ns</sup>	0,23 <sup>ns</sup>		0,16 <sup>ns</sup>	0,28 <sup>ns</sup>	0,77**	0,13 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	
Precipitação pluviométrica entressafra acc	0,29 <sup>ns</sup>	0,0 <sup>ns</sup>		0,30 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>		0,22 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>
SPI 3 Médio total	0,00 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>ns</sup>		0,00 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	
SPI 3 Médio safra	0,01 <sup>ns</sup>	0,16 <sup>ns</sup>		0,16 <sup>ns</sup>	0,19 <sup>ns</sup>	0,72**	0,02 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	
SPI 3 Médio entressafra	0,02 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>		0,02 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>		0,00 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>
IOS 3 Médio total	0,12 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,52**	0,12 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>		0,11 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	
IOS 3 Médio safra	0,06 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>		0,06 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,46 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	
IOS 3 Médio entressafra	0,26 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>		0,26 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>		0,22 <sup>ns</sup>	0,14 <sup>ns</sup>	0,31 <sup>ns</sup>
SST Niño 3.4 Médio total	0,00 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,90**	0,00 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>		0,00 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	
SST Niño 3.4 Médio safra	0,00 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>		0,00 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	0,95**	0,00 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	
SST Niño 3.4 Médio entressafra	0,06 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>		0,06 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>		0,04 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,34 <sup>ns</sup>

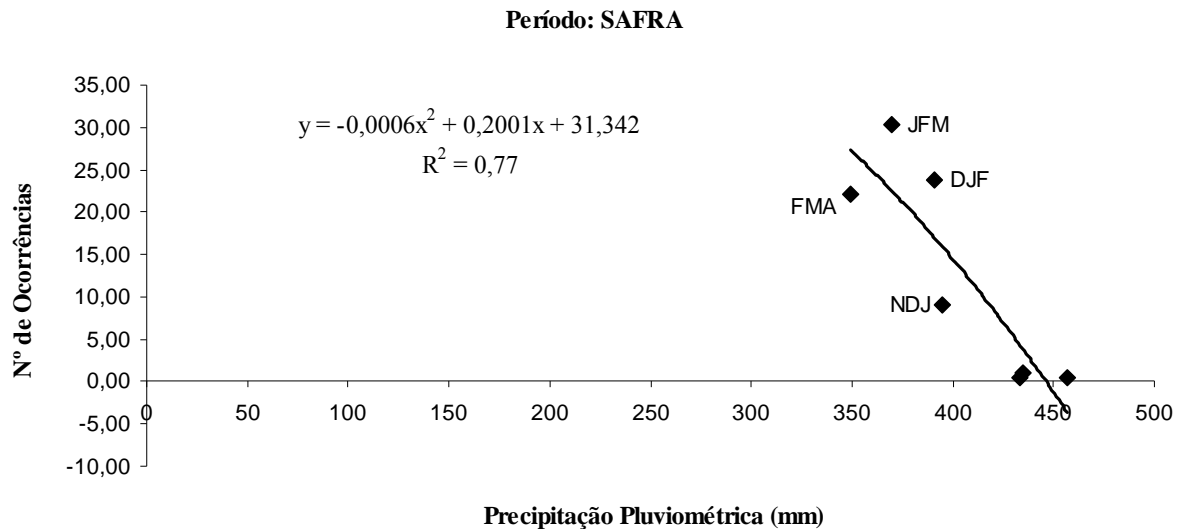
(<sup>ns</sup>) não significativo; (\*) significativo a 5 % ; (\*\*) significativo a 1 %

A partir destas informações, buscou-se a regressão polinomial quadrática (2º grau) para os principais indicadores de relação com o número de eventos, pois esta pode ser a equação que melhor explica a relação. Quando se analisam os dados nas safras, a regressão polinomial não explicou a relação, com  $R^2$  em 0,06, 0,26 e 0,37, para SST Niño 3.4, SPI-3 e Precipitação pluviométrica, respectivamente (Figura 6).



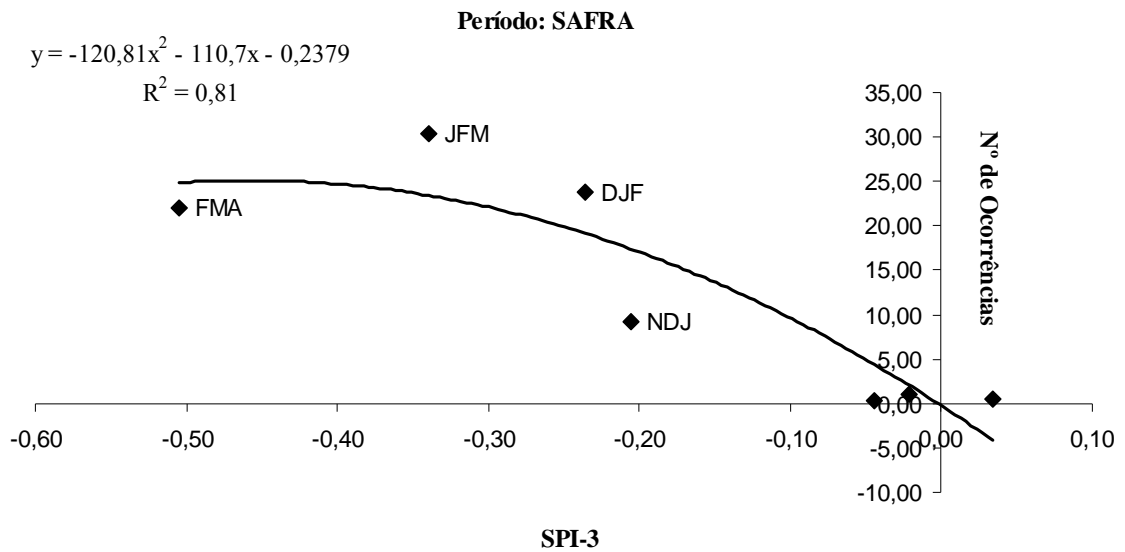
**Figura 6** Regressão polinomial quadrática da relação número de ocorrências com SST Niño 3.4, SPI-3 e Precipitação pluviométrica, na escala temporal SAFRAS, no período “Safra” para todas as regiões e trimestres; onde, eixo Y, número de ocorrências e eixo X, as variáveis climáticas SST Niño 3.4, SPI-3 e Precipitação pluviométrica, para o Estado do Rio Grande do Sul.

Como apresentado na Figura 7, a equação gerada pela regressão polinomial para a relação número de ocorrências e Precipitação Pluviométrica para o período “Safrá”, registrou  $R^2$  de 0,77, dentro do nível de 1% de significância, não melhorando a explicação da relação quando comparada com a regressão linear.



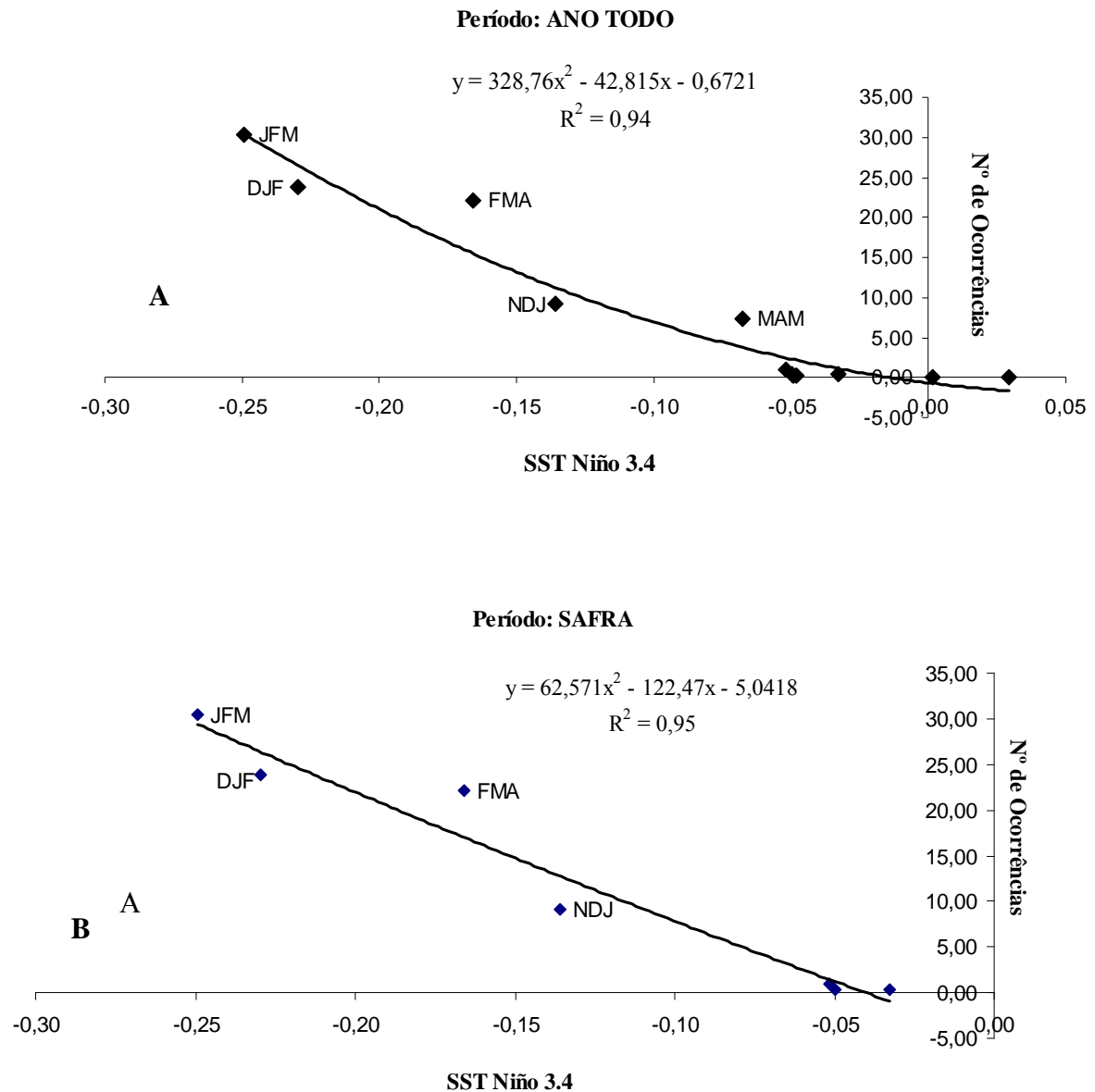
**Figura 7** Gráfico da regressão polinomial quadrática da relação número de ocorrências e Precipitação Pluviométrica Acumulada, na escala temporal TRIMESTRES, no período “Safrá”, para todas as regiões e safras; onde, eixo Y, número de ocorrências e eixo X, para o Estado do Rio Grande do Sul.

Aplicando-se a regressão polinomial quadrática para os dados de SPI-3 dos trimestres dentro do período “Safrá”, o coeficiente de determinação, subiu ainda mais, indicando uma forte relação entre este índice com o relato de ocorrências também para o período “Safrá”, com  $R^2$  atingindo 0,81, no mesmo nível de significância de 1%, demonstrando que os dados ajustados a esta regressão explicam melhor a relação do que a regressão linear (Figura 8).



**Figura 8** Regressão polinomial quadrática da relação número de ocorrências (e SPI-3, na escala temporal TRIMESTRES, no período “Safrá”, para todas as regiões e safras; onde, eixo Y, número de ocorrências e eixo X, para o Estado do Rio Grande do Sul.

Na Figura 9, a equação gerada pela regressão polinomial para a relação número de ocorrências e SST Niño 3.4 para o período “Ano Todo”, registrou  $R^2$  de 0,94, dentro do nível de 1% de significância. Esta regressão explicou melhor, pelo ajuste dos dados, a relação entre SST Niño 3.4 e o número de relatos de ferrugem para o período “Ano Todo” comparada à regressão linear.



**Figura 9** Regressão polinomial quadrática da relação número de ocorrências e SST Niño 3.4, na escala temporal TRIMESTRES, no período “Ano Todo” (A) e período “Safrá” (B), para todas as regiões e safras; onde, eixo Y, número de ocorrências e eixo X, para o Estado do Rio Grande do Sul.

Na regressão polinomial quadrática gerada para os dados de SST Niño 3.4 dos trimestres dentro do período “Safrá”, o coeficiente de determinação, permaneceu em 0,95, no mesmo nível de significância de 1% (Figura 9).

Os resultados confirmaram a importância da precipitação pluviométrica e sua relação com os relatos de ferrugem asiática da soja (BROMFIELD, 1984; TSCHANZ et al.1984; TSCHANZ & SHANMUGASUNDARAM, 1985; BERGAMIN FILHO, 2006; DEL PONTE

et al., 2006a; DEL PONTE, 2006b; MEGETO et al., 2014). Na variação interanual do número de relatos da ocorrência da doença, os melhores índices para avaliar esta relação são o SST Niño 3.4, a Precipitação Pluviométrica e o SPI-3. Os índices SST Niño 3.4 e SPI-3 mesmo não obtendo uma boa performance para o período “Entressafra” dentro dos trimestres, em contrapartida, apresentaram bom desempenho nos demais períodos analisados, inclusive “Ano Todo”, o que possibilita o seu uso para o monitoramento trimestral dos relatos de ocorrência de ferrugem asiática da soja, durante o ano todo, para todas as safras e regiões do Estado do Rio Grande do Sul.

Observou-se porém que a relação que ocorre para todos os índices quando comparados com o número de relatos de ferrugem asiática, esta é inversamente proporcional, indicando provavelmente que pode existir um outro fator que interfere nesta relação. Para a que ocorra a semeadura da soja e sobrevivência do patógeno em plantas guaxas, nas condições do sul do Brasil, a temperatura do ar é também fator limitante.

O sul é caracterizado pela ocorrência de baixas temperaturas e geadas frequentes no período de entressafra, o que dificulta a sobrevivência do patógeno em plantas guaxas e inviabiliza o plantio antecipado da soja, dificultando a possibilidade da chamada “ponte verde” que favorece o desenvolvimento do patógeno na entressafra. Mesmo com a possibilidade de chuvas abundantes para este período, a evolução do patógeno ou do número de relatos no CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM não é significativa, uma vez que as baixas temperaturas verificadas para este período inibem que isto ocorra.

Em safras onde as temperaturas no período de inverno são elevadas, caracterizando anormalidade para este período, pode se esperar maior ocorrência de ferrugem para o período de safra, uma vez que chuvas abundantes, presença de plantas guaxas no campo e condições de plantio antecipado podem promover maior desenvolvimento de epidemias.

Dentro da proposta de Blain & Brunini (2006) e Blain (2011) de adaptar o índice padronizado de precipitação (SPI) aos interesses agrometeorológicos, os resultados indicaram a possibilidade de utilização deste índice também para os interesses da fitopatologia. Os resultados indicaram que da mesma maneira, deve-se inserir o índice SST Niño 3.4.

O presente trabalho acrescentou um componente a mais na análise da variabilidade interanual dos relatos de ocorrência de ferrugem asiática, que foi a sua variabilidade intra-anual, quando buscou estabelecer relações entre o número de ocorrências registrados no período “Entressafra” e seu possível efeito ou relação sobre os dados do período “Safra” e “Ano Todo”, dentro de cada região e safras estudadas, explicados na Tabelas 3 e 4.

**Tabela 3** Relação entre número médio de ocorrências de ferrugem asiática no período “Entressafra” (trimestres MAM, AMJ, MJJ, JJA, JAS) com os relatos registrados de ocorrência de ferrugem asiática nos períodos “Safra” (Trimestres ASO, SON, OND, NDJ, DJF, JFM, FMA) e “Ano Todo” (todos os trimestres), dentro de cada região analisada no Estado do Rio Grande do Sul.

REGIÕES	MÉDIA OCORRÊNCIA ENTRESSAFRA (trim. 5,6,7,8,9)	MÉDIA TRIMESTRAL OCORRÊNCIA SAFRA (trim. 10,11,12,1,2,3,14)	MÉDIA TRIMESTRAL OCORRÊNCIA (ano todo)
115	0,96	5,51	3,61
118	0,96	7,32	4,67
119	5,15	39,78	25,35
120	1,15	13,19	8,17
123	0,48	2,71	1,78
124	0,30	1,18	0,81
Média	1,50	11,62	7,40
R <sup>2</sup>		0,98**	0,99**

(\*\*)significativo a 1 % para regressão linear com número médio de ocorrências

Verificou-se que todas as regiões registraram ocorrência de ferrugem no período “Entressafra”. As regiões 119 e 120 foram as que mais relataram ocorrência da doença no período “Entressafra”, seguido pelas regiões 115, 118, 123 e 124. O número de relatos na “Entressafra” influenciaram proporcionalmente nos relatos da “Safra” e “Ano Todo”.

Os resultados indicaram que o patógeno sobrevive na entressafra no Estado do Rio Grande do Sul. Este fato indica que maior atenção deveria ser dada no acompanhamento da sobrevivência do hospedeiro no período da entressafra principalmente nas regiões 119 e 120.

Um outro agravante para este resultado é que ele nos remete à avaliação da importância da implantação do vazio sanitário também para este Estado, visto que tanto Rio Grande do Sul quanto o Estado de Santa Catarina, na região sul, não possuem leis específicas que determinam o estabelecimento do período do vazio sanitário. Apenas o Estado do Paraná, nesta região, possui lei determinando o vazio.

**Tabela 4** Relação entre número médio de ocorrências de ferrugem asiática no período “Entressafra” (trimestres MAM, AMJ, MJJ, JJA, JAS) com os relatos registrados de ocorrência de ferrugem asiática nos períodos “Safrá” (Trimestres ASO, SON, OND, NDJ, DJF, JFM, FMA) e “Ano Todo” (Todos os trimestres), dentro de cada safra analisada no Estado do Rio Grande do Sul, para as 6 regiões do INPE.

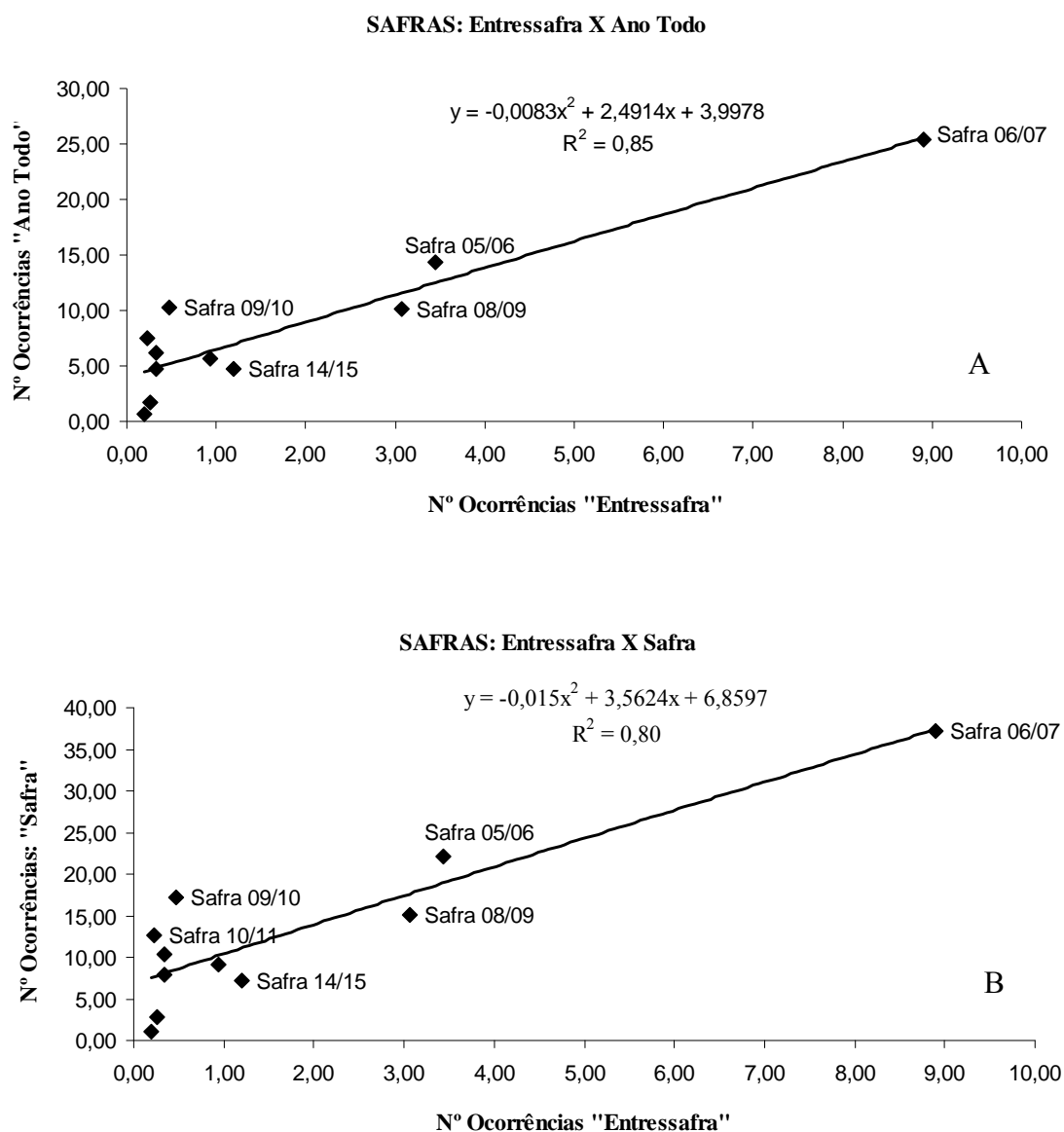
SAFRA	MÉDIA OCORRÊNCIA ENTRESSAFRA ( trim. 5,6,7,8,9)	MÉDIA TRIMESTRAL OCORRÊNCIA SAFRA (trim.. 10,11,12,1,2,3,14)	MÉDIA TRIMESTRAL OCORRÊNCIA (ano todo)
2004/2005	0,27	2,81	1,75
2005/2006	3,44	22,14	14,35
2006/2007	8,90	37,25	25,44
2007/2008	0,93	9,12	5,71
2008/2009	3,07	15,17	10,13
2009/2010	0,47	17,17	10,21
2010/2011	0,23	12,69	7,50
2011/2012	0,20	1,07	0,71
2012/2013	0,33	7,90	4,75
2013/2014	0,33	10,33	6,17
2014/2015	1,20	7,27	4,68
Média	1,76	12,99	8,31
R <sup>2</sup>		0,80**	0,85**

(\*\*)significativo a 1 % para regressão linear com número médio de ocorrências

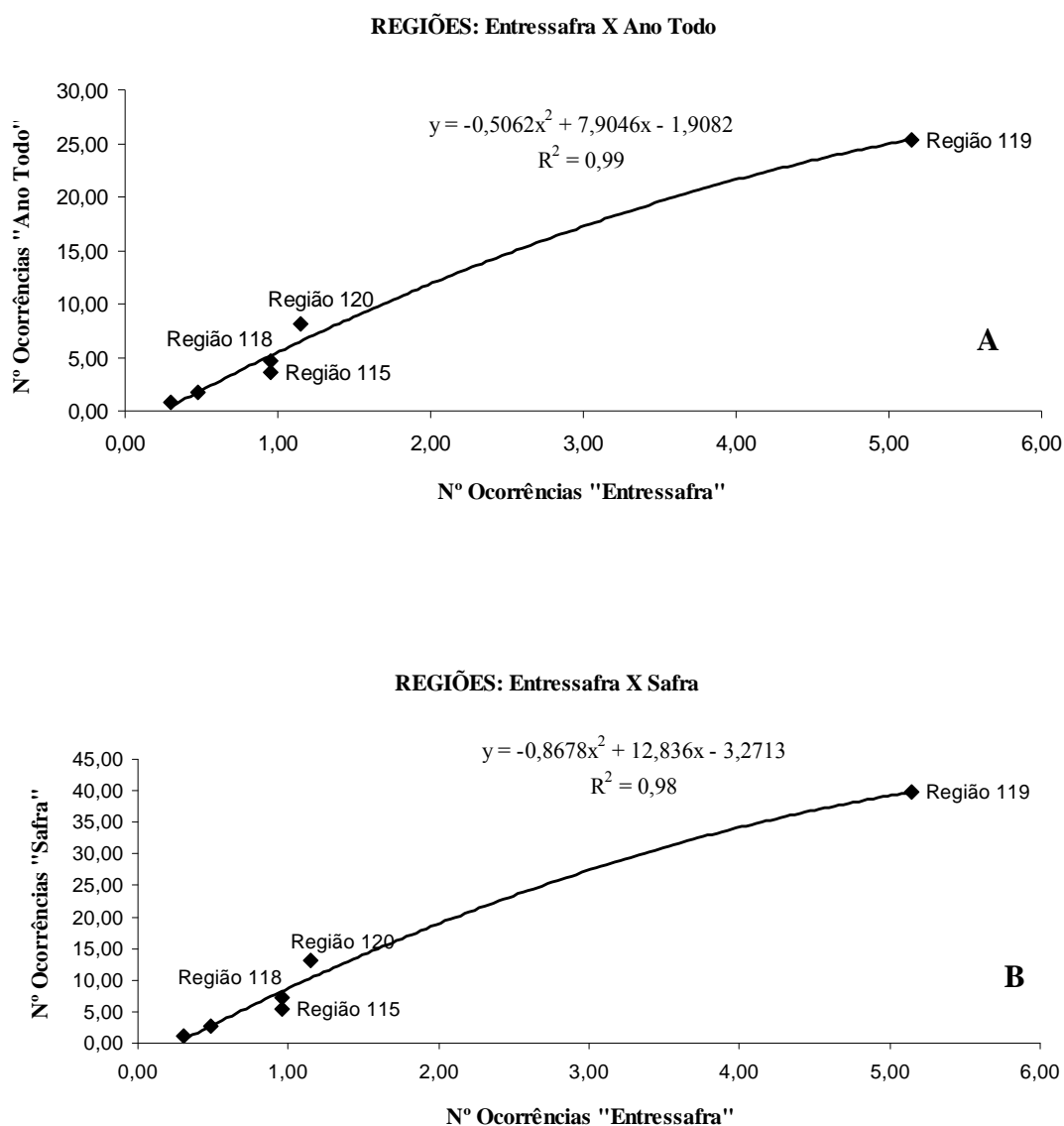
Verificou-se que para todas as safras, o número de ocorrências relatado no período “Entressafra” influenciou positivamente no número de relatos tanto do período “Safrá”, como “Ano Todo”, com um coeficiente de determinação, conforme regressão polinomial quadrática ( $R^2$ ), da ordem de 0,80 e 0,85, respectivamente, com nível de significância de 1% (Tabela 4).

Os resultados confirmaram a importante influência da chuva sobre a epidemia, porém, a quantidade de inóculo inicial referenciado neste trabalho como as ocorrências verificadas no período “Entressafra”, pode também ter explicado os efeitos positivos sobre as ocorrências do período “Safrá” e “Ano Todo” (CANTERI et al.(2007b); DEL PONTE (2006b) e MINCHIO (2011).

Estas informações indicaram que dependendo das ocorrências relatadas no site do CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM para o período “Entressafra”, este número poderá influenciar diretamente no número de ocorrências durante a safra vindoura, numa relação quadrática, ao nível de 1% de significância (Figura 10).



**Figura 10** Relação entre número médio de relatos de ferrugem asiática da soja verificados no período “Ano Todo” (A) eixo Y, decorrentes do efeito do número médio de relatos verificados no período “Entressafra”, eixo X, com números médios observados dentro de cada safra e número médio de relatos de ferrugem asiática da soja verificados no período “Safra” (B) eixo Y, decorrentes do efeito do número médio de relatos verificados no período “Entressafra”, eixo X, com números médios observados dentro de cada safra, independentemente da região para as 6 regiões do INPE, para o Estado do Rio Grande do Sul.



**Figura 11** Relação entre número médio de relatos de ferrugem asiática da soja verificados no período “Ano Todo” (A) eixo Y, decorrentes do efeito do número médio de relatos verificados no período “Entressafra”, eixo X, com números médios observados dentro de cada safra e número médio de relatos de ferrugem asiática da soja verificados no período “Safra” (B) eixo Y, decorrentes do efeito do número médio de relatos verificados no período “Entressafra”, eixo X, com números médios observados dentro de cada região, independentemente da safra, para o Estado do Rio Grande do Sul.

Esta observação é relevante para o estudo da epidemia, uma vez que para os resultados obtidos com as variáveis de ordem meteorológica, para o período “Entressafra”, não evidenciou-se relação forte com o número de ocorrências, porém, o que parece claro, neste momento, é que o número de ocorrências deve ser melhor acompanhado durante o

período “Entressafra”, pois este número associado com o acompanhamento dos índices SST Niño 3.4, SPI-3 e precipitação pluviométrica possibilitarão prever com maior clareza o número de ocorrências provável para o período “Safra” e “Ano Todo”, no decorrer do ano agrícola, dentro de cada região produtora.

## CONCLUSÃO

Para as condições do Estado do Rio Grande do Sul, o número de ocorrências de ferrugem asiática do período “Safrá” e período “Ano Todo”, obtidos do site do CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM, tem relação, inversamente proporcional, com a anomalia da temperatura na superfície do mar (SST Niño 3.4), do Oceano Pacífico tropical, o Índice Padronizado de Precipitação (SPI-3) e a precipitação pluviométrica acumulada, para os diferentes trimestres do ano, dentro das regiões e safras analisadas.

Verificou-se que as ocorrências relatadas no período “Entressafra” influenciaram positivamente nas ocorrências tanto do período “Safrá”, como “Ano Todo”, tanto para as regiões quanto para as safras estudadas, indicando que o Estado deveria se concentrar na implantação de legislação própria para a adoção do período de vazio sanitário para o período “Entressafra”.

## REFERÊNCIAS

- BERGAMIN FILHO, A. Epidemiologia comparativa: ferrugem da soja e outras doenças. In: Zambolin, L. (Org.) **Ferrugem Asiática da Soja**, Visconde do Rio Branco: Suprema Gráfica e Editora. 2006. pp.15-35.
- BERLATO, M.A.; FARENZENA, H.; FONTANA, D.C. Associação entre El Niño Oscilação Sul e a produtividade do milho no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.5, p.423-432, 2005.
- BERLATO, M.A.; FONTANA, D.C. Variabilidade interanual da precipitação e variabilidade dos rendimentos de soja no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.7, n.1, p.119-125, 1999.
- BLAIN, G.C. Aplicação do conceito do índice padronizado de precipitação à serie decenal da diferença entre precipitação pluvial e evapotranspiração potencial. **Bragantia**. Campinas, v.70, n.1, p.234-245, 2011.
- BLAIN, G.C.; BRUNINI, O. Quantificação da seca agrícola pelo índice padronizado de evapotranspiração real (IPER) no Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v.65, n.3, p.517-525, 2006.
- BLAIN, G.C.; BRUNINI, O. Análise da escala temporal de monitoramento das secas agrícolas e meteorológicas no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.22, n.2, 255-261, 2007.
- BONDE, M.R.; BERNER, D.K.; NESTER, S.E.; FREDERICK, R.D. Effects of temperature on urediniospore germination germ tube growth, and initiation of infection in soybean by *Phakopsora* isolates. **Phytopathology**, v.97, n.8, p.997-1003, 2007.
- BRASIL/CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Terceiro Levantamento. Brasília, v2, n.3, p.1-100, 2014.
- BRASIL/CONSORCIO ANTIFERRUGEM. **Consórcio antiferrugem**. Disponível em: <http://www.consorcioantiferrugem.net>, acessado em 10/08/2015.
- BRASIL/INPE Informações sobre produtos de monitoramento climático mensal e sazonal das chuvas no Brasil na página do CPTEC/INPE. CPTEC/INPE. Cachoeira Paulista. 2014. Disponível em: [http://clima1.cptec.inpe.br/~rclima1/pdf/Documento\\_produto\\_indice.pdf](http://clima1.cptec.inpe.br/~rclima1/pdf/Documento_produto_indice.pdf), acessado em 08/08/2015.
- BROMFIELD, K. **Soybean rust**. Monografia nº 11. The American Phytopathological Society. St. Paul, 65p., 1984.

- CANTERI(a), M.G.; DEL PONTE, E.M.; GODOY, C.V.; TSUKAHARA, R.Y. Emprego de tecnologia da informação para previsão de epidemias e zoneamento agroclimático aplicáveis no controle de doenças de plantas. **Summa Phytopathologica**, v.23, p.121-124, 2007
- CANTERI(b), M.G.; TSUKAHARA, R.Y.; SILVA, O.C. Monitoramento das variáveis ambientais para controle da ferrugem asiática da soja. In: XL Congresso Brasileiro de Fitopatologia, 2007, Maringá. **Fitopatologia Brasileira**. Brasília : SBF, 2007. v. 32. p. 65-66.
- DEL PONTE(a), E.M.; GODOY, C.V.; LI, X.; YANG, X.B. Predicting severity of asian soybean rust epidemics with empirical rainfall models. **Phytopathology**, v.96, n.7, p.797-803, 2006.
- DEL PONTE(b), E.M. Retrospectiva e tendências em modelagem matemática e previsão de ferrugem asiática. **Revista Plantio Direto**, p.21-30, nov/dez 2006
- DEL PONTE, E.M.; ESKER, P.D. Considerações epidemiológicas na avaliação de risco e manejo da ferrugem asiática da soja. In: XL Congresso Brasileiro de Fitopatologia, 2007, Maringá. **Fitopatologia Brasileira**, 2007. v. 32. p. S58-S60.
- DIAZ, A.F.; STUDZINSKI, C.D. MECHOSO, C.R. Relationships between precipitation anomalies in Uruguay and Southern. **Journal of Climate**, v.11, p.251-271, 1998.
- DUFAULT, N.S.; ISARD, S.A.; MAROIS, J.J.; WRIGHT, D.L. Removal of wet deposited *Phakopsora pachyrhizi* urediniospores from soybean leaves by subsequent rainfall. **Plant Disease**, St. Paul, v. 94, n. 11, p. 1336-1340, 2010.
- EUA/NOAA. National Oceanic Atmospheric Administration. Disponível em <<http://www.cpc.ncep.noaa.gov>>, acessado em 10/08/2015.
- FERREIRA, D.B. Relações entre a variabilidade da precipitação e a produtividade agrícola de soja e milho nas regiões sul e sudeste do Brasil. Dissertação. INPE. São José dos Campos, 2005.
- FIALLOS, F.R.G. A ferrugem asiática da soja causada por *Phakopsora pachyrhizi* Sidow e Sidow. **Ciencia y Tecnología**, v.4, n.2, p.45-60, 2011.
- FONTANA, D.C.; BERLATO, M.A. Relação entre o El Niño Oscilação Sul (ENOS), precipitação e rendimento de milho no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v.2, n.1, p.39-45, 1996.
- HARDAKER, J.B.; HUIRNE, R.B.M.; ANDERSON, J.R. **Coping with risk in agriculture**. Oxon: CAB International, 1997. p.274.
- HARTMAN, G.L.; MILES, M.R.; FREDERICK, R.D. Breeding for resistance to soybean rust. **Plant Disease**, v.89, n.6, p.664-666, 2005

- HENNEN, J.F. The taxonomy of the soybean rusts. P.29-32. In: SINCLAIR, J.B.; HARTMAN, G.L.(eds). **Proceedings of the rust workshop**, 9-10 August, 1995
- KOCHMAN, J.K. The effect of temperature on development of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*). **Australian Journal of Agricultural Research**, v.30, n.2, p.273-277, 1979.
- KOUSKY, V.E.; CAVALCANTI, I.F.A. Eventos Oscilação Sul/El Niño. Características, evolução e anomalias de precipitação. **Ciência e Cultura**, v.36, n.11, p.1888-1899, 1984.
- KOUSKY, V.E.; KAYANO, M.T.; CAVALCANTI, I. F. A. A review of the southern oscillation oceanic atmospheric circulation changes and related rainfall anomalies. **Tellus**, v.36, p.490-504, 1984.
- FIALLOS,
- LI, X.; YANG, X.B.; MO, J.Y; GUO; T.X. Estimation of soybean rust uredospore terminal velocity, dry deposition, and the wet depositon associated with rainfall. **European Journal of Plant Pathology**, v.123, p.377-386, set 2008.
- MARCHETTI, M.A.; UECKER, F.A.; BROMFIELD, K.R. Uredial development of *Phakopsora pachyrhizi* in soybeans. **Phytopathology**, v.65, p.822-823, julho 1975.
- McKEE, T.B.; DOESKEN, N.; KLEIST, J. The relationship of drought frequency and duration to time scales. Eight Conference on Applied Climatolgy. Anaheim, California. Jan, 1993.
- MEGETO, G.A.S.; OLIVEIRA, S.R.M.; DEL PONTE, E.M.; MEIRA, C.A.A. Árvore de decisão par classificação de ocorrências de ferrugem asiática em lavouras comerciais com base em variáveis meteorológicas. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v.34, n.3, p.590-599, 2014.
- MELCHING, J.S.; DOWLER, W.M.; KOOGLE, D.L.; POYER, M.H. Effects of duration, frequency and temperature of leaf wetness periods on soybean rust. **Plant Disease**, v.73, p.117-122, fevereiro 1989.
- MINCHIO, C. A. Determinação da provável origem do inóculo de *Phakopsora pachyrhizi* e interação entre estágio fenológico, favorabilidade ambiental e presença do inóculo para controle da doença. Dissertação de Mestrado em Agronomia. Universidade Estadual de Londrina, Londrina, ,2011, 116p.
- PATIL, V.S.; WUIKE, R.V.; CHIRAME, B.B.; THAKARE, C.S. Viability and survival of uredospores of *Phakosora pachyrhizi* SYD in plant debries under different storage conditions. **Journal of Soils and Crops**, v.8, n.1, p.16-19, junho 1998
- PIVONIA, S. YANG, X.B. Assessment of the potential year-round establishment of soybean rust throught the world. **Plant Disease**, v. 88, p. 523-529, mai 2004.

- RAO, V.B.; HADA, K. Characteristics of rainfall over Brazil: annual variations and connections with the Southern Oscillation. **Theoretical Applied Climatology**, v.42, p.81-91, 1990.
- ROPELEWSKI, C.F.; HALPERT, M.S. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño / Southern Oscillation. **Monthly Weather Review**, v.115, p. 1606-1626, 1987.
- ROPELEWSKI, C.F.; HALPERT, M.S. Precipitation patterns associated with the high index phase of the southern oscillation. **Journal of Climate**, v. 4, p. 268-284, 1989.
- RUPE, J.; SCONYERS, L. Soybean rust. The Plant Health Instructor. DOI: 10.1094/PHI-I-2008-0401-01 2008. Disponível em:  
<http://www.apsnet.org/idcenter/intropp/lessons/fungi/Basidiomycetes/Pages/SoybeanRust.aspx>, acessado em 12/06/2011.
- SCHMITZ, H.F.; GRANT, R.H. Precipitation and dew in a soybean canopy: spatial variations in leaf wetness and implications for *Phakopsora pachyrhizi* infection. **Agricultural and forest meteorology**, v.149, p.1621-1627, março, 2009
- SINCLAIR, J.B.; HARTMAN, G.L. **Proceedings of the soybean rust workshop**. National Soybean Research Laboratory. University of Illinois of Urbana Champaign, n.1, 9-11 agosto, 1995
- TAN, Y.J.; YU, Z.L.; LIU, J.L. Studies on the epidemic regulation and control of soybean rust caused by *Phakopsora pachyrhizi* Sydow. Urbana-Champaign: University of Illinois, 1983. p.169-174. (INTSOY Series).
- TEIXEIRA, C.F.A.; DAMÉ, R.C.F.; BACELAR, L.C.S.; SILVA, G.M.; COUTO, R.S. Intensidade da seca utilizando índices de precipitação. **Revista Ambiente & Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v.8, n.3, 2013.
- TSCHANZ, A.T.; WANG, T.C.; TSAI, B.Y. Recent advances in soybean rust research. In: SHANMUGASUNDARAM, S.; SULZBERGER, E.W.; MCLEAN, B.I. **Soybean in tropical and subtropical cropping system**. Asian vegetable research and development center, p.237-245, 1984
- TSCHANZ, A.T.; SHANMUGASUNDARAM, S. Soybean rust. In: World soybean research conference III; Proceedings. / ed. by Shibles, R.; Boulder, CO : Westview Press. p.562-567. ref. (Text in En) (AVRDC/SP) (AVRDC Staff Publication) (SB205.S7W6 1985). Disponível em: <<http://203.64.245.61/pub-5.htm>>, acessado em 12/06/2011.

TSUKAHARA, R.Y.; HIKISHIMA, M.; CANTERI, M.G. Relações entre o clima e o progresso da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) em duas micro-regiões do Estado do Paraná. **Semina: Ciências Agrárias**, v.29,n.1, p.47-52, jan 2008

YORINORI, J.T.; PAIVA, W.M.; FREDERICK, R.D.; COSTAMILAN, L.M.; BERTAGNOLLI, P.F. Epidemics of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in Brazil and Paraguay from 2001 to 2003. **Plant Disease**, v.89, n.6, p. 675-677, junho 2005.

**ARTIGO C: FENÔMENO ENOS, PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA, OCORRÊNCIA DE FERRUGEM ASIÁTICA NA ENTRESSAFRA E RELAÇÃO COM EPIDEMIAS DA DOENÇA NO ESTADO DO MATO GROSSO.**

*ENSO phenomenon, rainfall, occurrence of Asian soybean rust in the off season and relation of outbreaks of the disease in Mato Grosso State.*

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi estudar a influência da variabilidade da precipitação na evolução da epidemia de ferrugem asiática da soja no decorrer de 11 safras agrícolas, em 12 regiões de abrangência do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), para o Estado do Mato Grosso. Foram feitas análises de regressão polinomial linear e quadrática para a obtenção da correlação entre as variáveis climáticas precipitação pluviométrica, índice padronizado de precipitação (SPI-3), índice de oscilação sul (IOS-3) e Temperatura na Superfície do Mar (SST Niño 3.4), no Oceano Pacífico Tropical, com o número de ocorrências de sintomas de ferrugem relatados no *site* do Consórcio Antiferrugem, entre as regiões, nas safras e nos trimestres de cada safra. Regressões foram feitas para se estimar a influência das ocorrências verificadas no período “Entressafra” sobre as ocorrências da “Safra”. Os índices que melhor explicaram a variação da ocorrência da doença foram o SST Niño 3.4 e a precipitação pluviométrica acumulada trimestral tanto nos períodos “Ano Todo” como “Safra”, menos na “Entressafra”, com coeficientes de determinação ( $R^2$ ) variando de 0,92 a 0,93 e 0,90 a 0,92, respectivamente. As ocorrências da “Safra” e “Ano Todo” têm relação com as ocorrências da “Entressafra”, com  $R^2$  igual a 0,97, para ambos os períodos, indicando maior atenção sobre a ocorrência de ferrugem da “Entressafra” que poderá influenciar as ocorrências da “Safra”.

**Palavras-chave:** Chuva, epidemiologia, fatores meteorológicos, *Phakopsora*, previsão.

## ABSTRACT

The objective of this study was to investigate the influence of variability of rainfall in the evolution of soybean rust epidemic in the course of 11 agricultural crops in 12 regions of coverage of the National Institute for Space Research (INPE) for the State of Mato Grosso. We made of linear and quadratic polynomial regression analyzes to obtain the correlation between climate variables rainfall, standardized index of precipitation (SPI-3), southern oscillation index (IOS-3) and sea surface temperature (SST Niño 3.4), the Tropical Pacific Ocean, with the occurrences rust symptoms reported in the Anti-rust Consortium site, between regions, and vintages in the quarter of each harvest. Regressions were performed to estimate the influence of the events that occur in the period “off season” about the events of the “harvest”. The index that best explains the variation of disease occurrences are the SST Niño 3.4 and the rainfall, both in harvest periods as in every year period, less in the off season, with correlation coefficients ranging ( $R^2$ ) from 0.92 to 0.93 and 0.90 to 0.92, respectively . The occurrences of “harvest” and “every year” periods are related to the “off-season” occurrences, with  $R^2$  igual 0.97, for both periods, indicating greater attention on the occurrence of rust in the “off season” occurrences forecast in the “harvest”.

**Key words:** Rainfall, epidemiology, meteorological elements, *Phakopsora pachyrhizi*, prediction.

## INTRODUÇÃO

O Brasil cultiva aproximadamente 32 milhões de hectares de soja, com produção estimada de 96 milhões de toneladas. O Estado do Mato Grosso se destaca como o maior produtor de soja do Brasil, com produção em torno de 28 milhões de toneladas, previstos na safra 2014/2015 (BRASIL/CONAB, 2014).

Um dos entraves que dificultam a plena produtividade da cultura é o complexo de doenças e dentre elas, está a ferrugem asiática da soja, causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi* Syd. & P. Syd., que tem um grande potencial destrutivo da lavoura. Em condições favoráveis à doença, são relatadas perdas ao redor de 80% da produção (YORINORI et al.; HARTMAN et al., 2005).

*Phakopsora pachyrhizi* é considerado parasita obrigatório, sobrevivendo em outras plantas hospedeiras, plantas voluntárias de soja e lavouras de soja cultivadas na entressafra. O patógeno pode vir de regiões onde se encontra o hospedeiro, multiplicando-se pelo caminho, até chegar nas demais regiões produtoras ainda não infectadas (HENNEN, 1995; PIVONIA & YANG, 2004).

A epidemia do fungo é favorecida por condições de temperatura que varia de 16 a 28 °C, com ótimo de 25 °C e com duração de molhamento foliar ótima de 12 horas. Após a infecção, lesões e pústulas com esporos podem aparecer dentro de 7 ou 8 dias (MARCHETTI et al., 1975; KOCHMAN, 1979; MELCHING et al., 1989; TAN et al., 1983; PATIL et al. 1998; BONDE et al., 2007; RUPE & SCONYERS, 2008).

Diversos autores têm confirmado a existência de alta correlação entre a severidade da epidemia com a ocorrência das primeiras chuvas e o aumento de sua intensidade (BROMFIELD, 1984; TSCHANZ et al.1984; TSCHANZ & SHANMUGASUNDARAM, 1985; BERGAMIN FILHO, 2006; DEL PONTE et al., 2006a; MEGETO et al., 2014).

Tal vinculação à precipitação, mais do que pela temperatura, se dá pelo fato de que o fungo consegue sobreviver e se reproduzir em uma larga amplitude térmica, onde a chuva propicia condições de molhamento mais prolongado, o que facilitaria a penetração do patógeno para o interior dos tecidos do hospedeiro (TSCHANZ et al., 1984; TAN et al., 1994; SINCLAIR & HARTMAN, 1995; DEL PONTE et al., 2006a; DEL PONTE, 2007; CANTERI et al. 2007a; BARNES et al.; DEL PONTE & ESKER; LI et al.; TSUKAHARA et al., 2008; SCHMITZ & GRANT, 2009).

Del Ponte (2006b) confirmou a importância da chuva no desenvolvimento da epidemia e a coloca num patamar de única variável preditora de níveis de severidade da doença no campo explicando em mais de 85 % da variação da severidade máxima.

Evidências fortes indicaram que a chuva exerce grande influência sobre a epidemia de *P. pachyrhizi*, porém não são apenas as condições do tempo ou o ambiente que regulam as epidemias, pois o progresso da doença é fortemente influenciado pela quantidade de inóculo inicial que também explica a variação da severidade da doença em semeaduras antecipadas ou tardias (CANTERI et al., 2007b; DEL PONTE, 2006b; MINCHIO, 2011).

Em revisão sobre previsão de risco da ferrugem asiática da soja, constatou-se ser a chuva responsável pela dispersão da doença em macro escala, associada à prevalência e dispersão da doença na América do Sul. Analisando as detecções no Paraná e Rio Grande do Sul, verificou-se dispersão mais lenta da doença em anos mais secos do que em anos chuvosos, que resultaram em maior risco da doença (DEL PONTE, 2006b).

Por outro lado, uma precipitação pluviométrica de maior intensidade (entre 45 a 85 mm.h<sup>-1</sup>) influenciou positivamente na remoção de esporos de *Phakopsora pachyrhizi* depositados sobre as folhas, que indicariam um possível efeito negativo da chuva (DUFAULT et al, 2010).

Megeto et al. (2014) em estudo visando modelar a influência de elementos meteorológicos sobre o número de ocorrências de ferrugem asiática de soja, obtidos no site do CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM, utilizaram a técnica da indução de árvores de decisão, na qual verificaram que os valores encontrados indicaram que para menores quantidades de chuva, tanto em número de dias com precipitação acima de 1mm, quanto para maior volume de chuva em um único dia, houve maior ocorrência da doença.

A principal fonte conhecida da variabilidade climática interanual com atuação em todo o globo é o fenômeno chamado El Niño Oscilação Sul (ENOS), o qual provoca anomalias no escoamento atmosférico em escala global (KOUSKY et al., 1984; KOUSKY & CAVALCANTI, 1984).

As anomalias climáticas extremas estão relacionadas com as fases quente (El Niño) e fria (La Niña) do ENOS. Este fenômeno tem origem no Oceano Pacífico Tropical e é resultado de uma interação oceano-atmosfera, em que ocorre uma variação da temperatura da superfície do mar (em inglês SST – Surface Sea Temperature), na parte central e junto à costa oeste da América do Sul (Niño 3, Niño 3.4 e Niño 4), em associação com os campos de pressão (referentes ao IOS – Índice de Oscilação Sul) afetando conseqüentemente o clima em diversas partes do mundo (ROPELEWSKI e HALPERT, 1987, 1989).

Vários índices têm sido utilizados para medir a intensidade do ENOS, dentre eles o IOS, que reflete a diferença de pressão atmosférica entre Taiti (17,5 °S – 149,6 °W) e Darwin (12,4 °S – 130,9 °E), localizados na Austrália. O IOS mede a intensidade da Oscilação Sul (componente atmosférico), na região Niño 3 e a SST mede a intensidade do El Niño (componente oceânica).

Os efeitos do ENOS no Brasil podem ser vistos na parte Norte da Região Nordeste e a região Sul. No sul do Brasil, a fase quente (El Niño) em geral está associada com excesso de chuva durante a primavera do primeiro ano e posteriormente o fim do outono e início do inverno do segundo ano. Na fase fria (La Niña), a precipitação apresenta-se abaixo da normal na primavera e começo do verão (BERLATO et al., 2005).

Vários estudos relacionam os impactos intra-regionais das fases ENOS sobre o regime de precipitação e seus efeitos sobre a variabilidade climática e a produtividade das culturas (FONTANA & BERLATO, 1996; RAO et al., 1990, 1997, DIAZ et al., 1998).

O índice padronizado de precipitação (em inglês Standardized Precipitation Index – SPI) desenvolvido por McKee et al. (1993) é um quantificador de seca meteorológica que vem sendo utilizado em diversas partes do mundo, sendo capaz de monitorar este fenômeno climático em diversas escalas de tempo, reconhecendo diferentes tipos de seca em sua análise, utilizando apenas dados de precipitação pluviométrica.

De acordo com Blain & Brunini (2007b) e Teixeira et al. (2013), do ponto de vista meteorológico, o índice padronizado de precipitação (SPI) é uma das ferramentas mais adequadas para a quantificação da seca, sendo utilizado em diversas partes do mundo em programas e ações governamentais que visam realizar a análise de riscos e adotar medidas que diminuam o impacto socioeconômico causado pela seca. O evento seca começa quando o SPI torna-se negativo e atinge o valor de -1 e termina quando este volta a apresentar valores positivos.

O SPI foi baseado na precipitação padronizada, que é simplesmente a diferença da precipitação atual com a precipitação média de um período específico, dividido pelo desvio padrão, onde a média e o desvio padrão são determinados a partir de histórico de dados, ajustados a uma distribuição gama incompleta.

Com base neste pressuposto, Blain (2011), em seu trabalho buscou adaptar o SPI aos interesses agrometeorológicas, principalmente ligadas à condição de seca agrícola, onde o período mínimo para a ocorrência deste evento seria de 10 dias déficit de precipitação. O pesquisador avaliou que o parâmetro balanço hídrico, caracterizado pela diferença entre a

precipitação pluvial (P) e a evapotranspiração potencial (ETP), como importante ferramenta para o monitoramento de seca, proposto pelo modelo SPI, voltado aos interesses agrícolas.

Um projeto que tornavam disponíveis as informações sobre a ocorrência de ferrugem asiática da soja em todo o território brasileiro, através de uma plataforma de dados, visível em *website*, foi idealizado e colocado em prática pelo Laboratório de Epidemiologia de Plantas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e o Grupo de Pesquisa Mosaico da Universidade de Passo Fundo – RS, responsável pela construção e manutenção do sistema, que foi denominado CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM. A EMBRAPA-SOJA, ficou responsável pela coordenação e o gerenciamento do conteúdo do website. A alimentação do sistema é feita por laboratórios e pesquisadores devidamente credenciados pelo consórcio (BRASIL/CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM, 2015).

As informações geradas pela plataforma do CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM, registraram variação anual do número de eventos ligados à constatação dos sintomas de ferrugem asiática no Brasil. Por exemplo, na safra 2009/2010, foram registrados 2.370 eventos enquanto na safra 2010/2011, foram registrados 707.

Apesar de ocorrerem variações anuais de relatos, que podem estar relacionadas desde a falta de recursos para se ir a campo para obter informações até o comodismo dos técnicos, observou-se o interesse de diversas instituições na divulgação dos dados, onde os mesmos serviram de base para o trabalho de Megeto et al. (2014).

Este trabalho tem por objetivo relacionar a variabilidade interanual da precipitação pluviométrica, a partir de valores de precipitação pluviométrica acumulada, índice padronizado de precipitação (SPI), índice de oscilação sul (IOS) e índice de Temperatura na Superfície do Mar (SST), com o número de ocorrências relatadas de ferrugem asiática da soja, disponibilizados na plataforma do CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM, para o Estado do Mato Grosso.

## MATERIAL E MÉTODOS

### DADOS METEOROLÓGICOS

Os dados utilizados de IOS, da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) encontram-se disponíveis na internet, <<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/>>. Os dados lá disponíveis estão na escala temporal mensal e trimestral e foram calculados utilizando anomalias normalizadas das pressões atmosféricas na superfície do mar em Darwin e Taiti.

Para o estudo da SST no número de ocorrências de ferrugem asiática, foi considerada uma região sobre o Oceano Pacífico Tropical, definida como Niño 3.4, compreendida entre as latitudes de 5° N a 5° S e longitudes de 170° W a 120° W para o acompanhamento das fases do ciclo ENOS, para a qual estão disponíveis os índices de anomalias trimestrais no site do NOAA.

As regiões Niño 3.4 e Niño 4 abrangem a área qual ligeiros aumentos ou diminuições em SST podem ter um grande impacto onde a convecção é encontrada, no Pacífico ocidental e central e são as áreas-chave para o monitoramento e previsão de eventos ENOS. Os dados de SST Niño 3.4 em escala temporal trimestral foram obtidos diretamente no site do NOAA (EUA/NOAA, 2015).

O cálculo do SPI envolve o ajuste da série histórica de precipitação a uma distribuição de probabilidade Gama, seguido de transformação (mapeamento) do percentil correspondente ao valor de precipitação acumulada observada em anomalia padronizada de uma distribuição normal (Gaussiana) com média igual a zero e desvio padrão igual a um.

O SPI é determinado a partir das funções de densidade de probabilidade que descrevem as séries históricas de precipitação nas diferentes escalas de tempo utilizadas (1 a 60 meses). Foram consideradas para fins de ajuste, as distribuições normal e gama2. Conhecida (ajustada) a função de distribuição de probabilidade acumulada, a chance de uma dada quantidade de precipitação observada é obtida e o SPI é computado usando a distribuição inversa (McKEE et al., 1995). No caso das precipitações acumuladas num dado intervalo de tempo (1, 3, 6, 9, 12, 48 e 60 meses) terem uma distribuição normal, o SPI é simplesmente a variável reduzida da distribuição normal  $z_i$ :

$$\text{SPI} = z_i = (P_i - \bar{A}_i) / \sigma_i$$

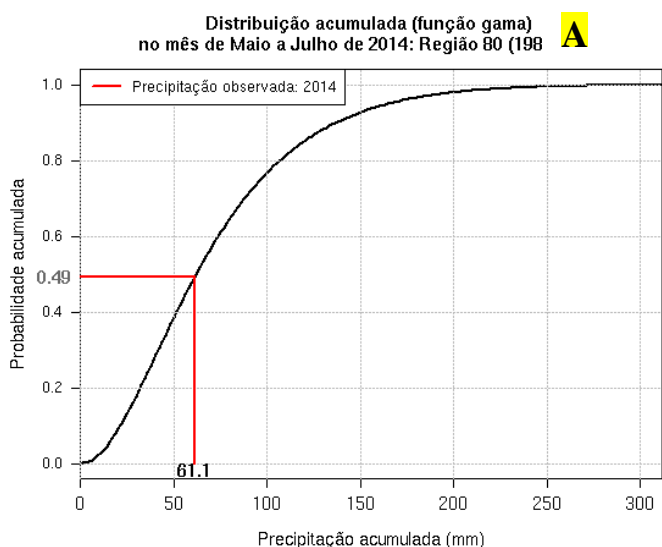
na qual  $P_i$  é a precipitação observada e  $\bar{A}_i$  e  $\sigma_i$  respectivamente, a média e o desvio padrão da série ajustada.

O produto disponibilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), mostra inicialmente a curva Gama da distribuição de probabilidade acumulada da precipitação ajustada utilizando os dados históricos de precipitação do INPE (1981-2010), indicando o valor da chuva observada no período em questão (eixo X) e o valor de probabilidade de ocorrência deste ou inferior valor (eixo Y). O segundo gráfico expressa a curva de distribuição normal (Gaussiana) indicando o valor do índice SPI (eixo X) associado ao percentil correspondente ao valor de precipitação acumulada observado na data em questão (eixo Y) (Figura 1).

De acordo com os dados do INPE, o SPI está disponível nas escalas de tempo de 1, 3, 6, 12, 24 e 48 meses, significando o período durante o qual se acumula o valor de precipitação: o SPI-1 corresponde à precipitação mensal, o SPI-3 corresponde à precipitação acumulada em 3 meses, e assim por diante.

Para investigar as relações entre o tempo e o aparecimento de sintomas de ferrugem asiática da soja nas regiões do Estado do Mato Grosso, foram utilizados os dados existentes no banco de dados do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos/ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE), Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e Centros Estaduais/Regionais de Meteorologia, disponibilizados no site do CPTEC/INPE ([www.cptec.inpe.br/clima](http://www.cptec.inpe.br/clima)), com período disponibilizado de dados da safra 2004/2005 até 2014/2015.

## ÍNDICE PADRONIZADO DE PRECIPITAÇÃO

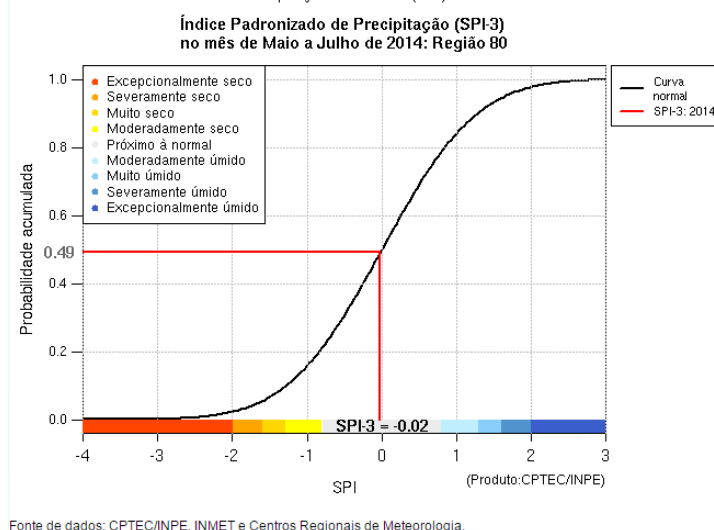
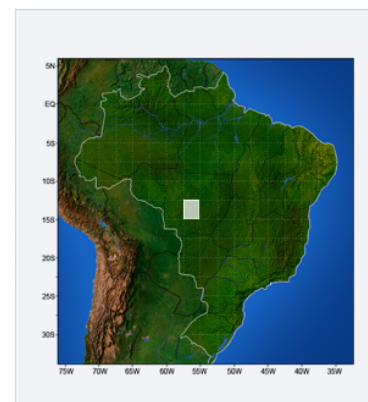


## INFORMAÇÕES

-&gt; Motivação

**B**

## SELECIONE A ÁREA - REGIÃO 80

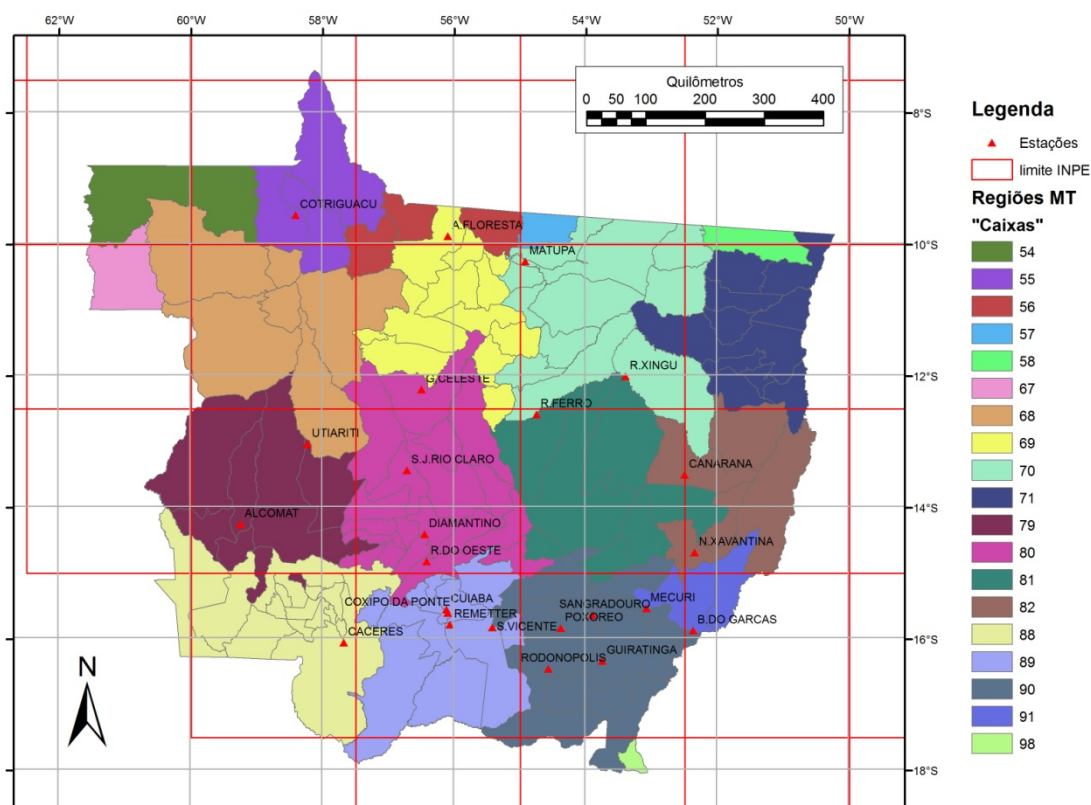
**C**

**Figura 1** – Exemplo de visualização no site CPTEC/INPE dos dados de SPI-3 (trimestral) referente aos trimestre MJJ (Maio-Junho-Julho) de 2014, para a região (caixa) 80, correspondente à região noroeste do Estado do Mato Grosso (BRASIL/INPE, 2015), onde **A** refere-se ao gráfico da precipitação acumulada no trimestre Maio-Junho-Julho de 2014 (mm) versus probabilidade de ocorrência (%), frente ao histórico de precipitação, normal climatológica (1981-2010); **B**, região 80 (2,5° x 2,5°), do INPE, sobre o Estado do Mato Grosso, e **C**, gráfico de probabilidade de ocorrência da precipitação acumulada verificada e SPI-3 (Maio-Junho-Julho).

## ESTADO DO MATO GROSSO

Os dados de precipitação acumulada trimestral foram obtidos a partir do site do CPTEC/INPE são referentes a 25 estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e Centros Estaduais/Regionais de Meteorologia distribuídas ao longo do Estado do Mato Grosso, localizadas nos municípios de Alcomat, Alta Floresta, Barra do Garças, Cáceres, Canarana, Cotriguaçu, Coxipó da Ponte, Cuiabá (2 estações), Diamantino, Gleba Celeste, Guiratinga, Matupá, Mequí, Nova Xavantina, Padre Ricardo Remetter, Poxoró, Rio Ferro, Rio Xingu, Rondonópolis, Rosário do Oeste, Sangradouro, São José do Rio Claro, São Vicente e Utiariti..

Os dados de precipitação pluviométrica acumulada (mm) são produtos disponibilizados através de visualização gráfica, com o valor SPI calculado para a escala temporal de 3 meses (Trimestre), a partir de janeiro de 1981 até os meses do ano corrente, abrangendo 124 regiões (caixas de 2,5° x 2,5° de latitude e longitude sobre o Brasil. As regiões 68, 69, 70, 71, 80, 81, 82, 89, 90, 91 e 98, do INPE, cobrem o Estado do Mato Grosso.



**Figura 2** Mapa do Estado do Mato Grosso, com a localização das regiões estabelecidas pelo INPE e as estações meteorológicas que coletam dados para a base do INPE (Fonte: BRASIL/INPE(2015), adaptado por Caviglione (2015).

#### OCORRÊNCIA DE SINTOMAS: CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM

As informações relacionadas à ocorrência de sintomas de ferrugem asiática da soja nas diferentes regiões do Estado do Mato Grosso, foram obtidas a partir do CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM (<<http://www.consorcioantiferrugem.net>>), para o período total de dados existentes no site, iniciando pela safra 2004/2005 até 2014/2015.

Os eventos foram agrupados por mês de ocorrência e posteriormente, somados para um espaço temporal de 3 meses. Os agrupamentos trimestrais de eventos ocorridos, de forma sazonal, foram: NDJ (Novembro-Dezembro-Janeiro), DJF (Dezembro-Janeiro-Fevereiro), JFM (Janeiro-Fevereiro-Março), FMA (Fevereiro-Março-Abril), MAM (Março-Abril-Maio), AMJ (Abril-Maio-Junho), MJJ (Maio-Junho-Julho), JJA (Junho-Julho-Agosto), JAS (Julho-Agosto-Setembro), ASO (Agosto-Setembro-Outubro), SON (Setembro-Outubro-Novembro), OND (Outubro-Novembro-Dezembro).

Os dados por cidade onde a ferrugem foi diagnosticada pelo Laboratório credenciado pelo CONSÓRCIO, foram agrupados em regiões definidas pela base de dados do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), sendo: 68, 69, 70, 71, 80, 81, 82, 89, 90, 91 e 98, conforme demonstrado na Tabela 1 e Figura 2.

Foi utilizada regressão polinomial linear (FERREIRA, 2005) e polinomial quadrática, visando analisar a relação entre o número de ocorrências acumuladas nos trimestres, verificadas em diferentes períodos: “Ano todo”, “Safra” e “Entressafra”, com os índices de variabilidade climática: precipitação pluviométrica acumulada, SPI-3, IOS-3 e SST Niño 3.4, nos períodos: “Ano Todo” (todos os trimestres do ano), “Safra” [trimestres Julho-Agosto-Setembro (JAS), Agosto-Setembro-Outubro (ASO), Setembro-Outubro-Novembro (SON), Outubro-Novembro-Dezembro (OND), Novembro-Dezembro-Janeiro (NDJ), Dezembro-Janeiro-Fevereiro (DJF), Janeiro-Fevereiro-Março (JFM) e Fevereiro-Março-Abril (FMA)] e “Entressafra” [trimestres: Março-Abril-Maio (MAM), Abril-Maio-Junho (AMJ), Maio-Junho-Julho (MJJ) e Junho-Julho-Agosto (JJA)], para as regiões definidas pelo INPE. Os períodos “Safra” e “Entressafra” foram definidos de acordo com BRASIL/CONAB (2014).

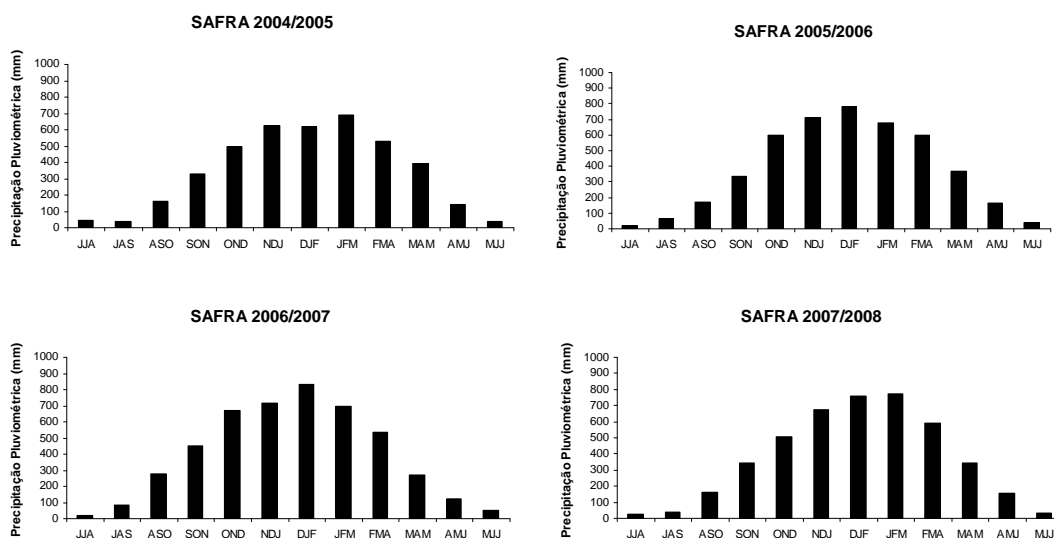


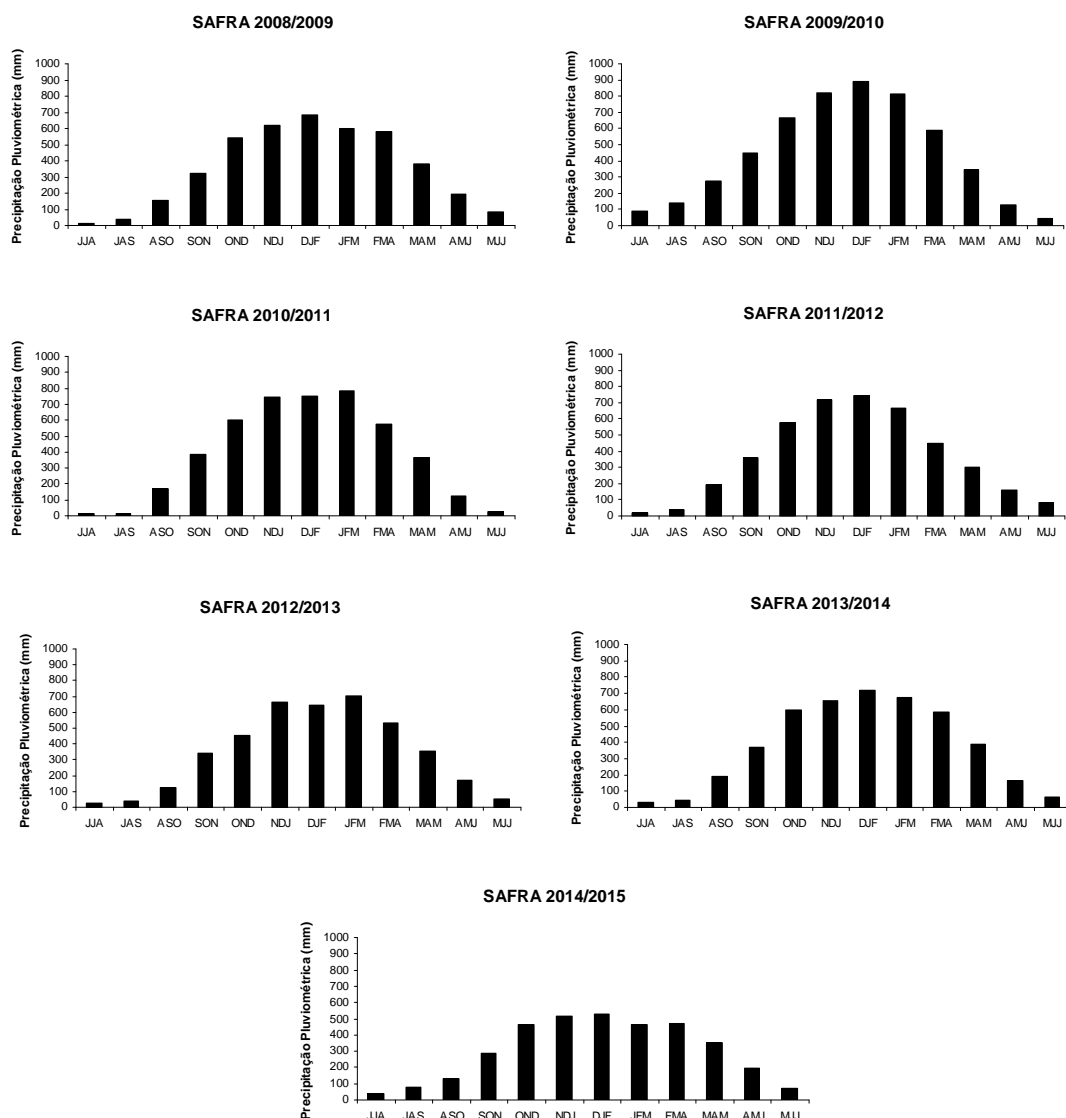
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA

Os dados de precipitação pluviométrica acumulada para os trimestres do ano, estão apresentados na Figura 3, para todas as safras estudadas. Observa-se que as safras possuem chuvas bem distribuídas e volumosas a partir do trimestre Setembro-Outubro-Novembro (SON) até o trimestre Março-Abril-Maio (MAM), com precipitações pluviométricas trimestrais que chegam próximas aos 900 mm no trimestre Dezembro-Janeiro-Fevereiro (DJF), como foi verificado para a safra 2009/2010.

Após o trimestre DJF começa a ocorrer uma diminuição da precipitação pluviométrica que até o trimestre MAM é considerada como sendo um volume aceitável para as necessidades da soja. Os trimestres Abril-Maio-Junho (AMJ), Maio-Junho-Julho (MJJ), Junho-Julho-Agosto (JJA), Julho-Agosto-Setembro (JAS) e Agosto-Setembro-Outubro (ASO), são trimestres de baixo volume de chuvas, sendo os trimestres JJA e JAS os mais críticos, com precipitações pluviométricas trimestrais ficando próximas de 0 mm, como o ocorrido para a safra 2010/2011.





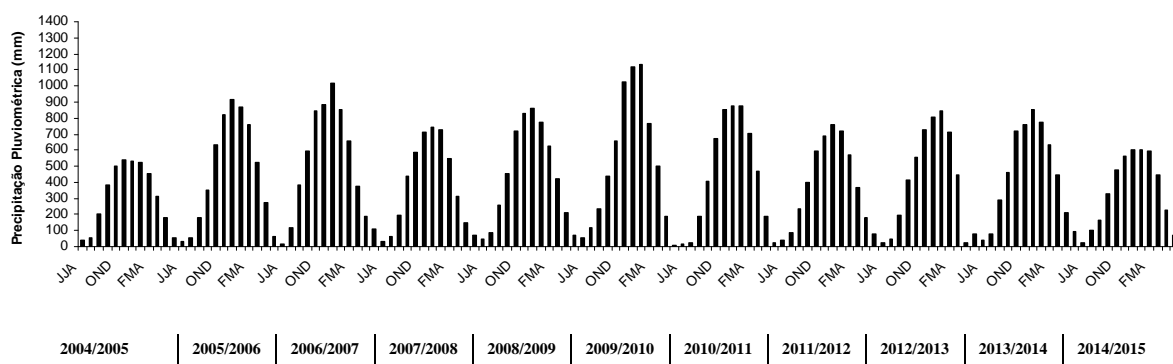
**Figura 3** Precipitação pluviométrica acumulada trimestral (mm) nas safras de 2004/2005 a 2014/2015, para o Estado do Mato Grosso.

Analisando períodos de ocorrências dos fenômenos El Niño e La Niña, para as diferentes regiões definidas pelo INPE (Figura 4), as safras 2004/2005, 2006/2007 e 2009/2010 foram consideradas de ocorrência de El Niño de fraca intensidade, enquanto que na safra 2007/2008, houve o evento La Niña de forte intensidade. Em anos de El Niño espera-se maior volume pluviométrico na região sul do Brasil do que na região norte/nordeste e em anos de La Niña o oposto disto (KOUSKY et al., 1984). Porém devido ao Estado do Mato Grosso estar em uma região centro-oeste, entre as regiões sul e norte, os dados apresentados demonstraram que para o fenômeno El Niño, somente a safra 2009/2010 seguiu fielmente esta descrição.

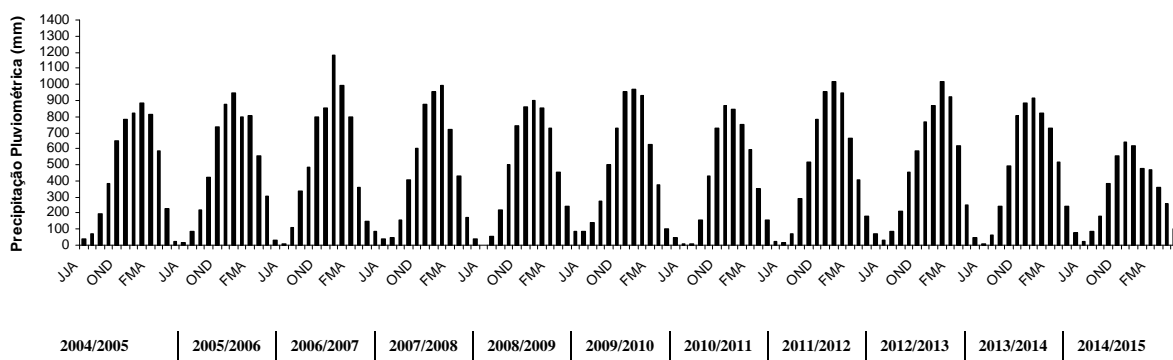
A safra 2014/2015 foi a que apresentou os menores valores de precipitação pluviométrica trimestral, mesmo não sendo caracterizada como de ação do fenômeno La Niña ou El Niño.

Os fenômenos El Niño e La Niña, que influenciam diretamente o comportamento dos fatores meteorológicos nas regiões sul e região norte do Brasil, não foram tão impactantes para o Estado do Mato Grosso.

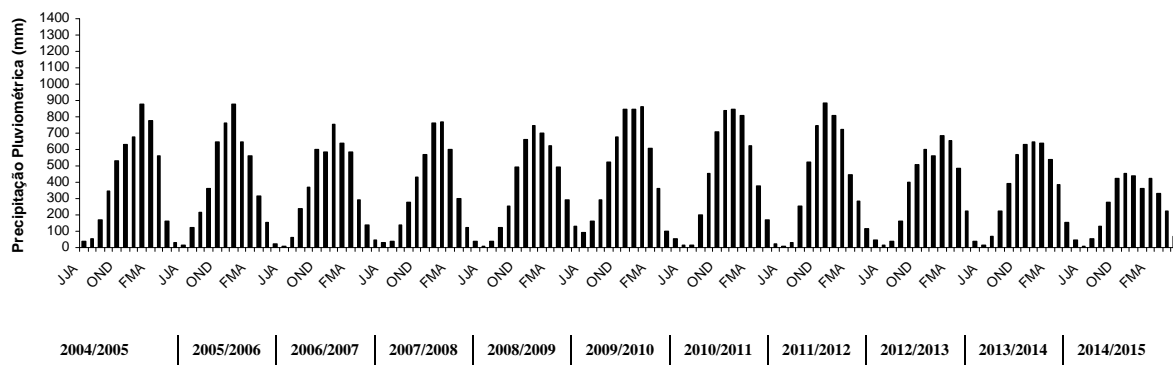
#### REGIÃO 68



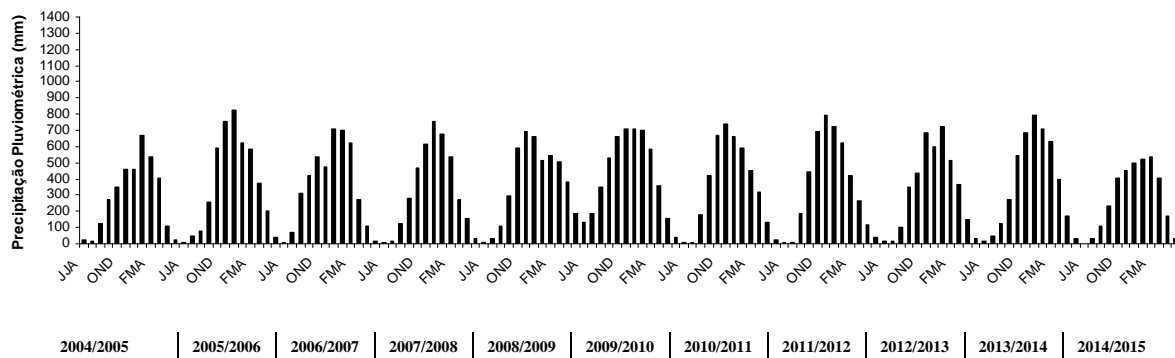
#### REGIÃO 69



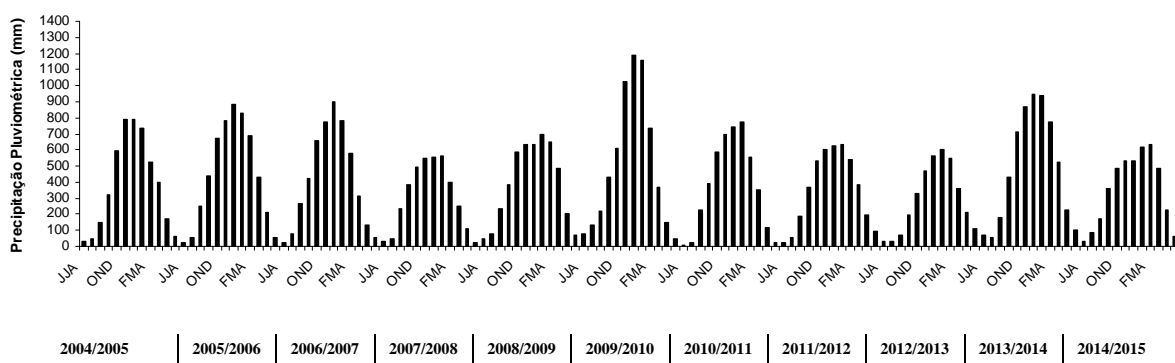
#### REGIÃO 70



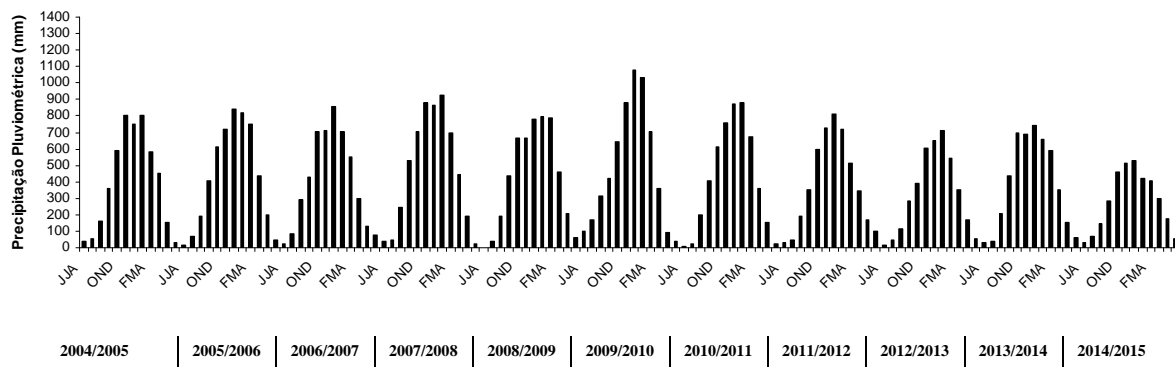
**REGIÃO 71**



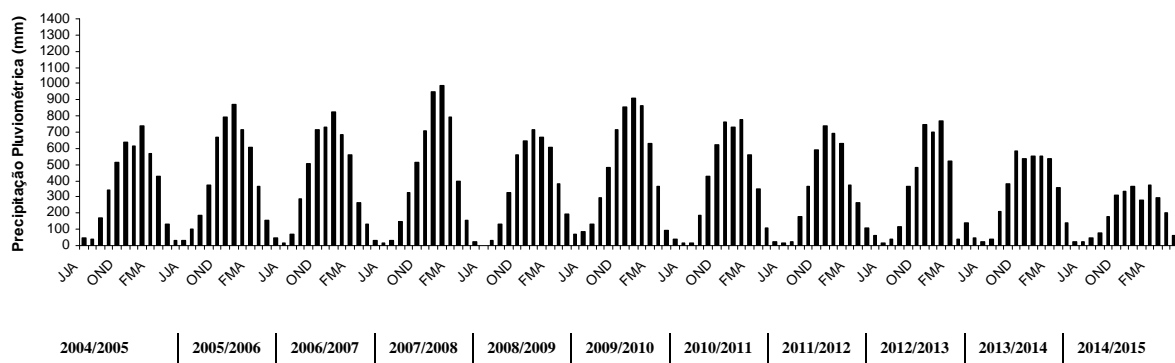
**REGIÃO 79**



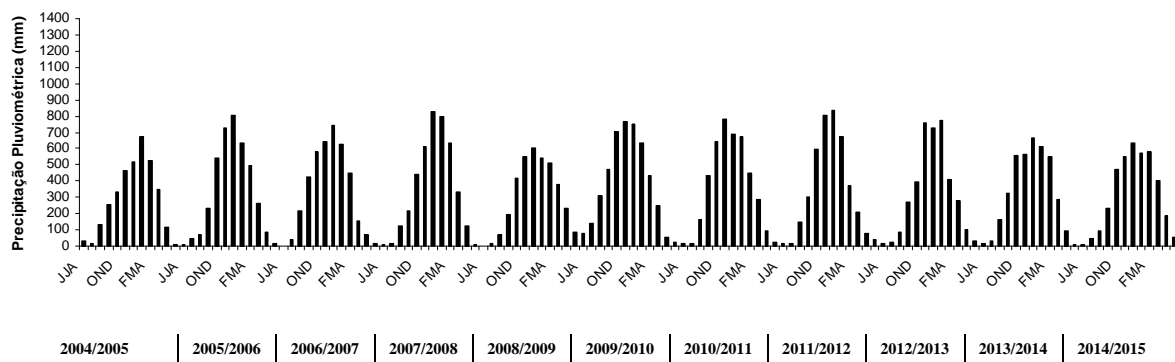
**REGIÃO 80**



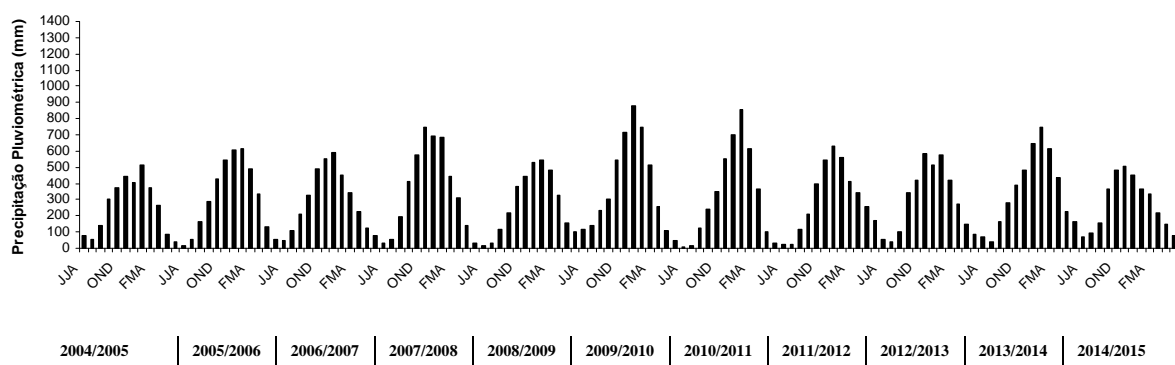
**REGIÃO 81**



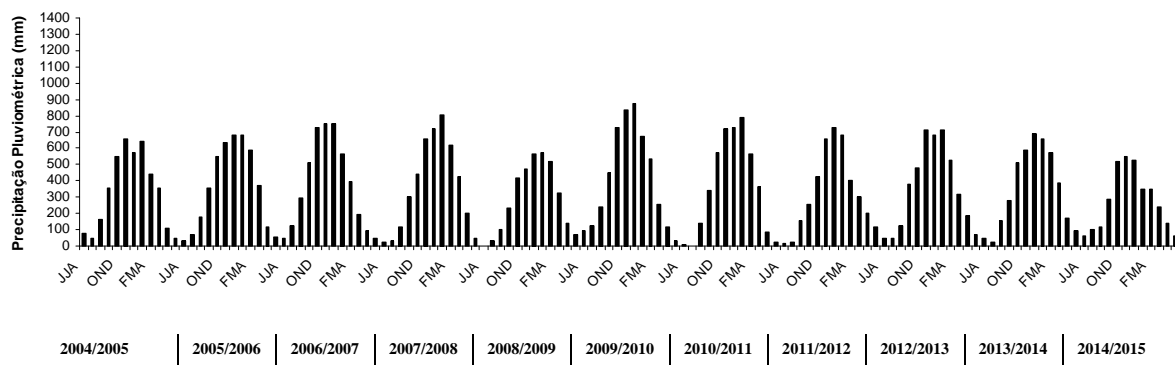
## REGIÃO 82



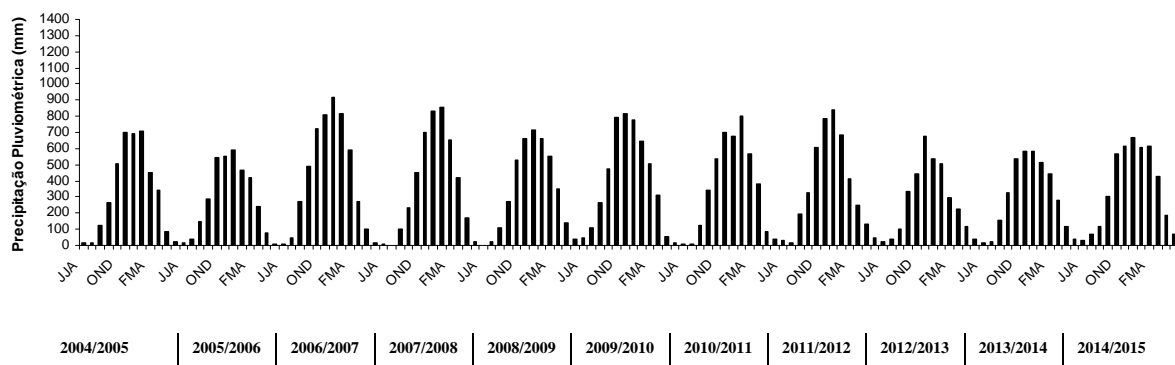
## REGIÃO 89

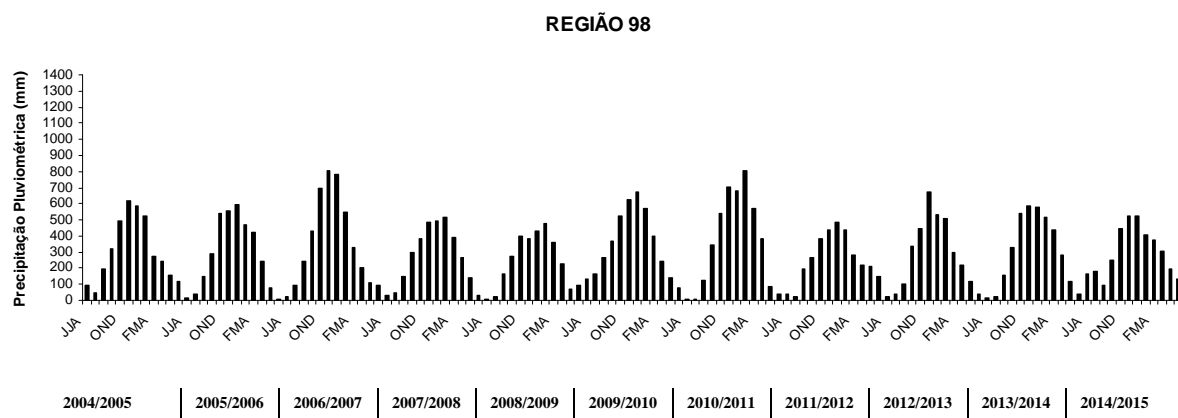


## REGIÃO 90



## REGIÃO 91





**Figura 4** Precipitação pluviométrica acumulada trimestral (mm) para as regiões 68, 69, 70, 71, 80, 81, 82, 89, 90, 91 e 98, definidas pelo INPE nas safras 2004/2005 a 2014/2015 para o Estado do Mato Grosso.

Os dados apresentados na Figura 4 demonstraram que a precipitação pluviométrica trimestral tende a ser maior para as regiões situadas mais ao norte do Estado do Mato Grosso, com valores podendo chegar à ordem dos 1.000 mm. para os trimestres mais chuvosos Novembro-Dezembro-Janeiro (NDJ) e Dezembro-Janeiro-Fevereiro (DJF), provavelmente devido à grande influência das massas de ar vindas da ação da floresta amazônica e da cordilheira dos Andes existente no território da Bolívia, vizinha desse Estado.

As regiões localizadas mais ao sul, sofrem ação menos intensas dessas massas de ar, mas são atingidas pelas massas de ar polares que se deslocam do sul para o norte, que mesmo sendo de fraca intensidade, também influenciam o clima nesta região

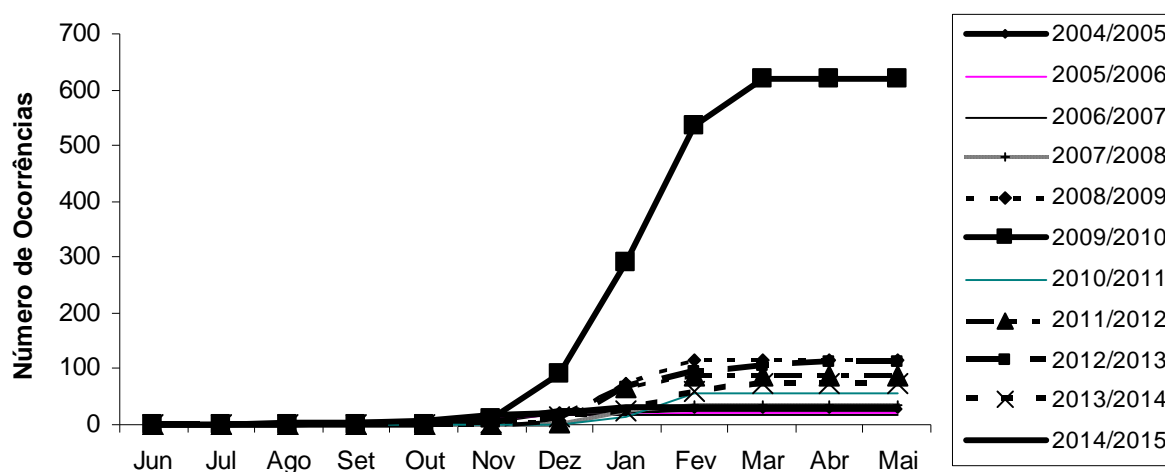
A baixa precipitação pluviométrica verificada nos trimestres considerados de entressafra dificulta a semeadura antecipada e o desenvolvimento inicial da cultura para as condições do Estado do Mato Grosso. A antecipação da semeadura ou o seu plantio tardio somente são viáveis se isto ocorrer sob condições de irrigação, o que foi verificado, quando os agricultores que detêm esta tecnologia, utilizando pivôs centrais, iniciam semeadura logo após o vazio sanitário, ou em condições especiais de plantio, autorizados pelo Instituto de Defesa Agropecuária do Estado do Mato Grosso (INDEA), onde o chamado “plantio excepcional”, devidamente autorizado por este órgão pode ser realizado após o mês de Dezembro até o mês Março. As semeaduras realizadas até os meses de Fevereiro e Março, certamente deverão ter o seu período reprodutivo sob irrigação. Se essa condição não for atendida, certamente haverá abortamento de flores e vagens, tal como ocorre em situações da planta submetida a estiagens.

A Figura 5 descreve as ocorrências acumuladas de ferrugem asiática relatadas no

CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM para as safras 2004/2005 a 2014/2015, em todos os meses do ano. Pode-se observar que as safras 2009/2010, 2011/2012 e 2012/2013, apresentaram o maiores ocorrências, em ordem decrescente. As primeiras ocorrências na safra 2009/2010 foram descritas no mês de Novembro enquanto para as demais safras (2011/2012 e 2012/2013), tiveram o seu início nos meses de Outubro. A safra 2014/2015 apresentou ocorrências até o mês de setembro.

De acordo com as ocorrências de ferrugem esperava-se que as safras 2004/2005, 2006/2007 e 2009/2010 apresentassem maiores ocorrências por serem anos de El Niño, onde deveria chover mais na região. Porém, esta constatação foi verificada apenas na safra 2009/2010.

A presença de áreas irrigadas com pivô central no Estado do Mato Grosso, por si só podem não ampliar a epidemia pelo estado, mas certamente podem servir de ponte para os esporos provenientes de regiões que possuem produção de esporos durante o período de entressafra. Caso se perdurem condições de alta umidade decorrentes de chuvas frequentes, esses esporos produzidos nas lavouras irrigadas poderiam se espalhar para as demais regiões produtoras, irrigadas ou não.



**Figura 5** Número de ocorrências acumuladas de ferrugem asiática da soja relatados nos diversos meses do ano nas safras 2004/2005 a 2014/2015, obtidos no banco de dados do CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM, para o Estado do Mato Grosso (BRASIL/CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM (2015)).

Em função da existência de relação entre precipitação pluviométrica acumulada e relatos de ocorrência de ferrugem, para as safras 2009/2010, buscou-se variáveis para tentar explicar o baixo número de relatos nas safras 2004/2005 e 2006/2007.

Na Tabela 2 estão descritos detalhadamente os índices responsáveis pela variabilidade interanual do clima e sua possível relação com o número de eventos de ferrugem asiática disponibilizados no site do CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM.

A análise do resumo feito pela Tabela 2 indicou que tanto para as regiões como para as safras, o relato de ocorrências nos meses considerados “safra”, “entressafra” e “ano todo” não apresentou linearidade em razão dos baixos coeficientes de determinação e sem a manifestação de significância para a regressão, com exceção feita para o SPI-3 para todas as safras que nas condições “Ano Todo”, “Safra” e “Entressafra” obteve  $R^2$  de 0,38 com nível de significância de 5 %.

A regressão é significativa quando se chega mais detalhadamente na escala temporal de trimestre do que na escala temporal de safra ou mesmo na escala espacial de região.

O número de relatos de ocorrências “Ano Todo” teve relação com o índice precipitação pluviométrica acumulada dentro de cada trimestre, independentemente da região ou da safra. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) para a precipitação pluviométrica acumulada foi de 0,76, ao nível de significância de 1%. Para os períodos de “Safra” o coeficiente  $R^2$  atingiu 0,74, sendo também significativo ao nível de 1%. No período “Entressafra” este indicador não alcançou bons resultados na relação com os relatos de ocorrência da doença, mesmo com valor elevado na entressafra, para precipitação pluviométrica verificada na entressafra, obtendo um  $R^2$  da regressão de 0,87, este porém não foi significativo.

O índice SPI-3 não teve relação com o número de eventos de ferrugem asiática relatados no site do CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM dentro dos trimestres, independentemente da região e safra, para os períodos: “Ano Todo”, “Safra” e “Entressafra”. A relação não foi explicada para qualquer período estudado.

O índice IOS-3 apresentou relação com o número de relatos de ocorrência em no período “Ano Todo”, para todos os trimestres. Para os demais períodos estudados não obteve relação significativa.

Para o índice SST Niño 3.4, houve relação forte para os períodos “Ano Todo” e “Safra” No período “entressafra”, dentro dos trimestres, o  $R^2$  de 0,87 não foi significativo, indicando que a regressão não pode ser explicada.

Estes resultados demonstraram que as anomalias de temperatura da água na superfície do mar (SST) verificadas na faixa do Oceano Pacífico Tropical proporcionaram

maior sensibilidade na relação com o número de ocorrências de ferrugem asiática relatado no site do CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM do que a pressão atmosférica (IOS) verificada nesta mesma região do Oceano Pacífico.

Por estes resultados pode-se dizer que a precipitação, representada pelos valores de precipitação pluviométrica e SST Niño 3.4, comprovou estar relacionada diretamente com o relato das ocorrências do site do CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM confirmando a sua importância no desenvolvimento da epidemia da ferrugem asiática da soja (TSCHANZ et al.1984; TSCHANZ & SHANMUGASUNDARAM, 1985; BERGAMIN FILHO, 2006; DEL PONTE et al., 2006a; DEL PONTE, 2006b; TSUKAHARA et al., 2008; MEGETO et al., 2014).

Os resultados demonstrados na Tabela 2 indicaram que os índices Precipitação Pluviométrica e SST Niño 3.4, na escala temporal para 3 meses, foram os mais indicados para explicar a relação número de ocorrências de ferrugem asiática da soja, descritos no site do CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM, para cada trimestre estudado, tanto para período “Ano Todo” como para “Safrá”, não sendo recomendados para o período “Entressafrá”, sendo o SST Niño 3.4 o que apresentou os maiores coeficientes de determinação para as condições do Estado do Mato Grosso.

Estes resultados indicaram que as lavouras de soja mesmo estando em condições de irrigação, sob pivôs centrais, necessitam do fator precipitação pluviométrica para o desenvolvimento da epidemia. Culturas submetidas à irrigação, poderiam estar possibilitando a sobrevivência e a multiplicação do fungo no período entressafrá e mesmo no início da safrá, porém sem a ocorrência de precipitações pluviométricas significativas não ocorreria a evolução da doença nas demais lavouras do Estado do Mato Grosso.

As condições microclimáticas de lavouras sob irrigação podem propiciar o desenvolvimento de *Phakopsora pachyrhizi*, na parte do dossel inferior da cultura. Na parte superior, porém, devido ao pouco tempo existente entre a deposição da gota d'água da irrigação sobre as folhas e a ação de temperatura propiciando a evaporação da água, o tempo curto de molhamento foliar dificulta a emissão de tubo germinativo e de haustórios na penetração do fungo e no desenvolvimento da infecção inicial.

A ação de fungicidas na parte inferior é mínima, uma vez que as folhas existentes na parte superior dificultam a penetração do produto nessa região. Conseqüentemente, essa área fica mais vulnerável ao processo infeccioso, o que mesmo com um número maior de pulverizações ou revezamento de princípios ativos no controle da doença, certamente haverá infecção do patógeno. Em lavouras de soja irrigada, poderia-se dizer que existe possibilidade

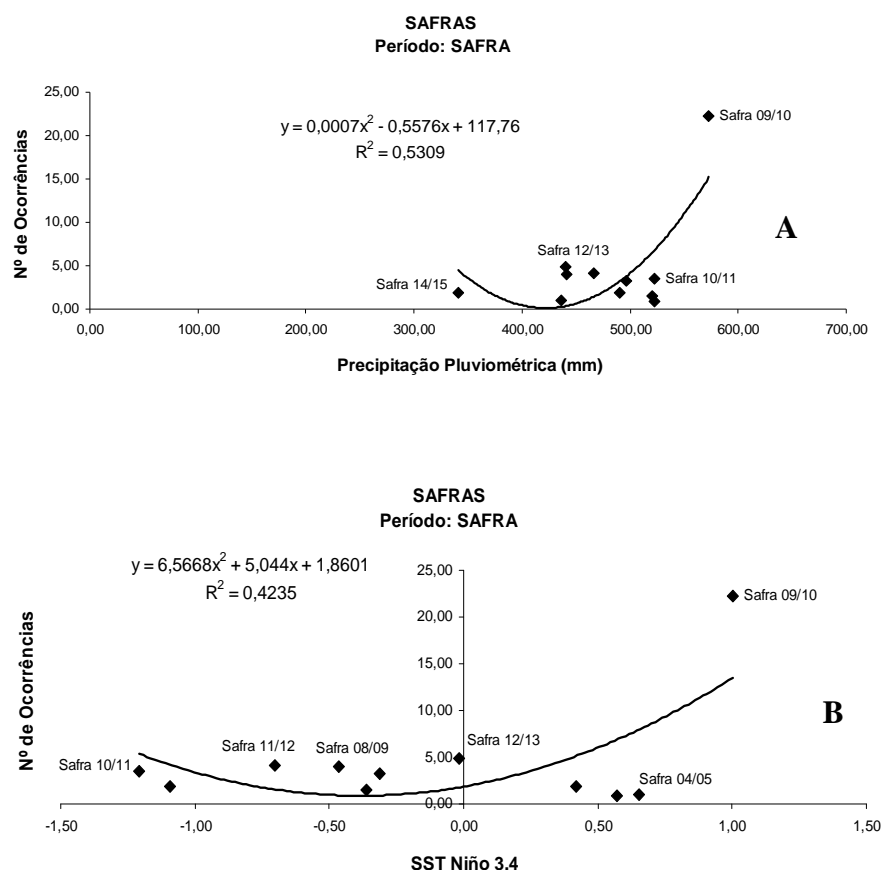
de desenvolvimento da doença, mesmo que numa severidade baixa e rigidez no controle, evidenciado por aumento do número de aplicações de fungicidas (MINCHIO, 2011).

**Tabela 2** Coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de regressões lineares geradas entre o relato de ocorrência de ferrugem asiática, na safra, na entressafra e no total do ano, no site do CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM e os índices: Precipitação pluviométrica acumulada (acc), SPI-3, IOS-3 e SST Niño 3.4, para todas as regiões, safras e trimestres analisados, no Estado do Mato Grosso.

ÍNDICE	Ocorrências “Ano Todo”			Ocorrências “Saфра”			Ocorrências “Entressafra”		
	REGIÕES	SAFRAS	TRIMESTRES	REGIÕES	SAFRAS	TRIMESTRES	REGIÕES	SAFRAS	TRIMESTRES
Precipitação pluviométrica total acc	0,00 <sup>ns</sup>	0,25 <sup>ns</sup>	0,76**	0,00 <sup>ns</sup>	0,25 <sup>ns</sup>		0,04 <sup>ns</sup>	0,24 <sup>ns</sup>	
Precipitação pluviométrica safra acc	0,00 <sup>ns</sup>	0,23 <sup>ns</sup>		0,00 <sup>ns</sup>	0,23 <sup>ns</sup>	0,74**	0,02 <sup>ns</sup>	0,21 <sup>ns</sup>	
Precipitação pluviométrica entressafra acc	0,07 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>		0,05 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>		0,34 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	0,87 <sup>ns</sup>
SPI 3 Médio total	0,01 <sup>ns</sup>	0,38*	0,25 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,38*		0,00 <sup>ns</sup>	0,38*	
SPI 3 Médio safra	0,01 <sup>ns</sup>	0,27 <sup>ns</sup>		0,01 <sup>ns</sup>	0,26 <sup>ns</sup>	0,23 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,26 <sup>ns</sup>	
SPI 3 Médio entressafra	0,01 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>		0,01 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>		0,06 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>
IOS 3 Médio total	0,00 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,37*	0,00 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>		0,03 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	
IOS 3 Médio safra	0,00 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>		0,00 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	0,17 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,16 <sup>ns</sup>	
IOS 3 Médio entressafra	0,02 <sup>ns</sup>	0,29 <sup>ns</sup>		0,02 <sup>ns</sup>	0,29 <sup>ns</sup>		0,25 <sup>ns</sup>	0,25 <sup>ns</sup>	0,37 <sup>ns</sup>
SST Niño 3.4 Médio total	0,01 <sup>ns</sup>	0,14 <sup>ns</sup>	0,92**	0,00 <sup>ns</sup>	0,14 <sup>ns</sup>		0,04 <sup>ns</sup>	0,22 <sup>ns</sup>	
SST Niño 3.4 Médio safra	0,01 <sup>ns</sup>	0,18 <sup>ns</sup>		0,00 <sup>ns</sup>	0,17 <sup>ns</sup>	0,92**	0,03 <sup>ns</sup>	0,28 <sup>ns</sup>	
SST Niño 3.4 Médio entressafra	0,01 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>		0,00 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>		0,09 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	0,87 <sup>ns</sup>

(<sup>ns</sup>) não significativo; (\*) significativo a 5 % ; (\*\*) significativo a 1 %, com número médio de ocorrências

A partir destas informações, buscou-se a regressão polinomial quadrática (2º grau) para os principais indicadores de relação com o número de eventos, pois esta pode ser a equação que melhor explica a relação. Quando se analisam os dados nas safras, a regressão polinomial não explicou a relação, com  $R^2$  em 0,53 e 0,42, para Precipitação pluviométrica e SST Niño 3.4 (Figura 6).



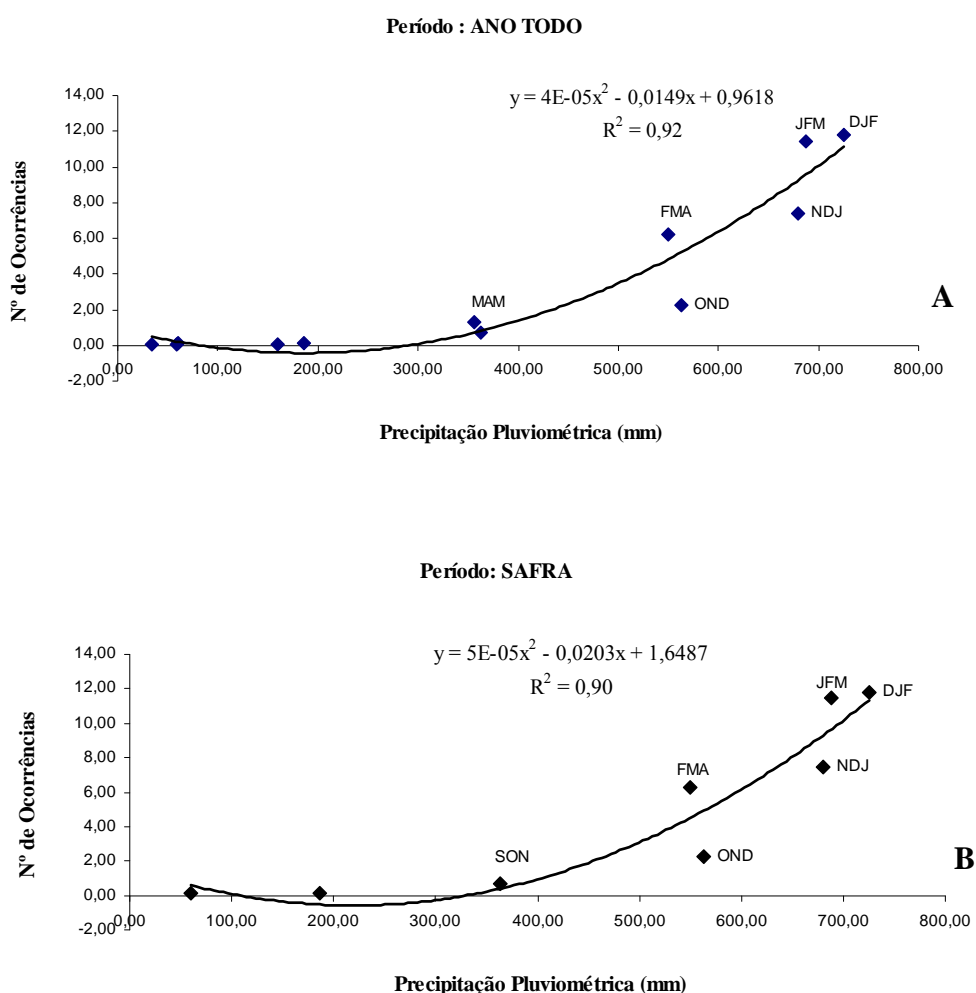
**Figura 6** Regressão polinomial quadrática da relação número de ocorrências Precipitação Pluviométrica, no período “Safra” (A) e período para todas as regiões e trimestres, na escala temporal SAFRAS; onde, eixo Y, número de ocorrências e eixo X, SPI-3 e ; regressão polinomial quadrática da relação número de ocorrências e SST Niño 3.4, no período “Safra” (B) para todas as regiões e trimestres, para o Estado do Mato Grosso.

Na Figura 7, a equação gerada pela regressão polinomial para a relação número de ocorrências e precipitação pluviométrica para o período “Ano Todo”, registrou  $R^2$  de 0,92, dentro do nível de 1% de significância. Esta regressão poderia explicar melhor, pelo ajuste dos dados, a relação entre Precipitação Pluviométrica e o número de relatos de ferrugem para o período “Ano Todo” comparada à regressão linear. Para o período “Safra”, o  $R^2$  atingiu 0,92, indicando que esta regressão também explicou melhor a relação.

A relação entre as ocorrências de ferrugem asiática e a precipitação pluviométrica foi diretamente proporcional (BROMFIELD, 1984; TSCHANZ et al.1984; TSCHANZ & SHANMUGASUNDARAM, 1985; BERGAMIN FILHO, 2006; DEL PONTE et al., 2006a; DEL PONTE, 2006b; MEGETO et al., 2014), nas condições do Estado do Mato Grosso. Tal informação aliada ao fato que neste Estado as condições de sobrevivência do patógeno no

período de entressafra são mínimas devido à baixa precipitação pluviométrica que dificulta a sobrevivência do hospedeiro, mesmo como planta voluntária, os induz a crer que áreas irrigadas no período de “Entressafra”, áreas irrigadas semeadas logo no período imediatamente após o vazio sanitário poderiam servir de banco de reserva de esporos do fungo para a contaminação da safra no Estado principalmente em anos de grandes precipitações pluviométricas.

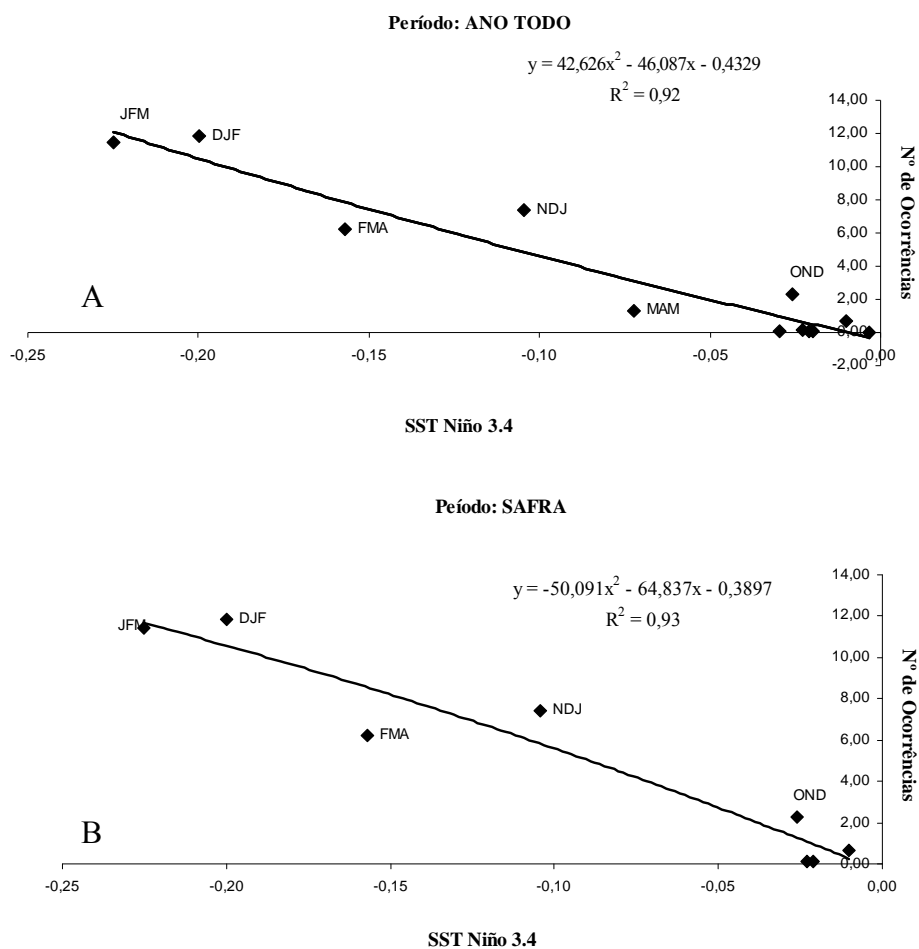
Mesmo estas áreas sendo devidamente controladas com fungicidas, dificilmente existirá lavoura onde ocorreria “zero” de incidência ferrugem (MINCHIO, 2011). Caso isto ocorra, a única via de ocorrência da doença, que pudesse produzir uma pressão alta de inóculo sobre as lavouras do Estado do Mato Grosso poderia ser proveniente da Bolívia, que produz soja em período de verão e de inverno.



**Figura 7** Regressão polinomial quadrática da relação número de ocorrências e Precipitação Pluviométrica acumulada trimestral, na escala temporal TRIMESTRES, no período “Ano Todo” (A) e período “Safrá” (B), para todas as regiões e safras; onde, eixo Y, número de ocorrências e eixo X, para o Estado do Mato Grosso.

Aplicando-se a regressão polinomial quadrática para os dados de SST Niño 3.4 dos trimestres dentro do período “Safrá”, o coeficiente de determinação teve elevação de 0,92 para 0,93, no mesmo nível de significância de 1%, demonstrando que os dados ajustados a esta regressão poderiam explicar melhor a relação do que a regressão linear (Figura 7). Nesta condição, tende-se a optar por um modelo quadrático do que um linear.

Na Figura 8, a equação gerada pela regressão polinomial para ocorrências e SST Niño 3.4 para o período “Ano Todo”, registrou  $R^2$  de 0,92, mantendo-se constante, quando comparado ao coeficiente da regressão linear, dentro do nível de 1% de significância. Da mesma forma que para o período “Safrá”, a opção por um modelo de regressão quadrática seria recomendada do que o modelo linear (Figura 7).



**Figura 8** Regressão polinomial quadrática da relação número de ocorrências e SST Niño 3.4, na escala temporal TRIMESTRES, no período “Ano Todo” (A) e período “Safrá” (B), para todas as regiões e safras; onde, eixo Y, número de ocorrências e eixo X, para o Estado do Mato Grosso.

Os resultados confirmaram a importância da precipitação pluviométrica (BROMFIELD, 1984; TSCHANZ et al.1984; TSCHANZ & SHANMUGASUNDARAM, 1985; BERGAMIN FILHO, 2006; DEL PONTE et al., 2006a; DEL PONTE, 2006b; MEGETO et al., 2014). Na variação interanual do número de relatos da epidemia da ferrugem asiática, os melhores índices para avaliar esta relação são o SST Niño 3.4 e Precipitação Pluviométrica. Os índices SST Niño 3.4 e Precipitação Pluviométrica mesmo não obtendo uma boa performance para o período “Entressafra” dentro dos trimestres, em contrapartida, apresentaram bom desempenho nos demais períodos analisados, inclusive “Ano Todo”, o que possibilita o seu uso para o monitoramento dos relatos durante o ano todo, para todas as safras e regiões do Estado do Mato Grosso.

Dentro da proposta de Blain & Brunini (2006) e Blain (2011) de adaptar o índice padronizado de precipitação (SPI) aos interesses agrometeorológicos, os resultados indicaram a possibilidade de utilização, para as condições do Estado do Mato Grosso, de outros índices que se adaptam aos interesses da fitopatologia. Os resultados indicaram que os índices SST Niño 3.4 e Precipitação Pluviométrica poderiam ser referência importante para o estudos relativos ao desenvolvimento de epidemias para o Estado do Mato Grosso.

O presente trabalho acrescentou um componente a mais na análise da variabilidade interanual dos relatos de ocorrência de ferrugem asiática, que foi a sua variabilidade intra-anual, quando buscou estabelecer relações entre o número de ocorrências registrados no período “Entressafra” e seu possível efeito ou relação sobre os dados do período “Safrá” e “Ano Todo”, dentro de cada safra estudada, explicados na Tabela 3.

**Tabela 3** Relação entre número médio de ocorrências de ferrugem asiática no período “Entressafra” (trimestres MAM, AMJ, MJJ, JJA) com os relatos registrados de ocorrência de ferrugem asiática nos períodos “Safrá” (Trimestres JAS, ASO, SON, OND, NDJ, DJF, JFM, FMA) e “Ano Todo” (Todos os trimestres), dentro de cada safra analisada no Estado do Mato Grosso para as 6 regiões do INPE.

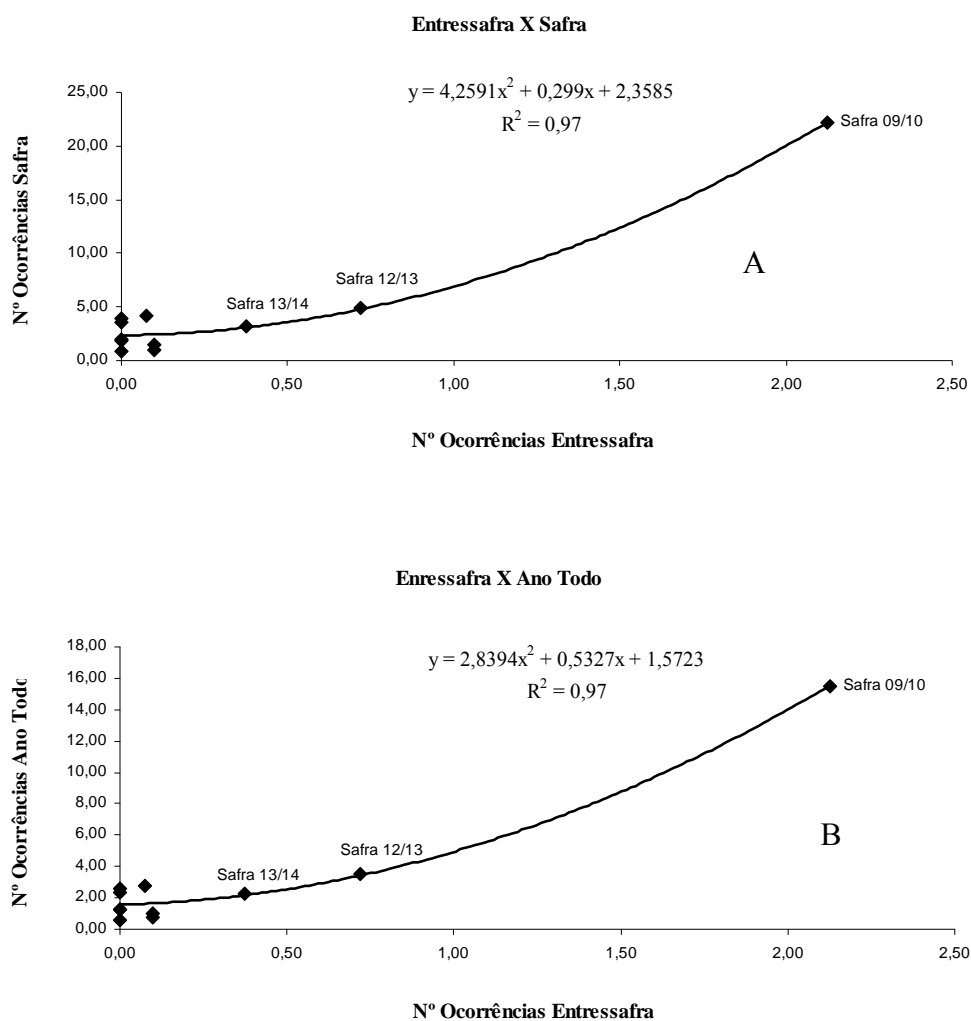
SAFRA (MT)	MÉDIA OCORRÊNCIA “ENTRESSAFRA” ( trim. 5,6,7,8,9)	MÉDIA TRIMESTRAL OCORRÊNCIA “SAFRA” (trim.. 10,11,12,1,2,3,14)	MÉDIA TRIMESTRAL OCORRÊNCIA “Ano Todo”
2004/2005	0,10	1,04	0,73
2005/2006	0,10	1,45	1,00
2006/2007	0,00	0,91	0,61
2007/2008	0,00	1,88	1,25
2008/2009	0,00	3,95	2,64
2009/2010	2,13	22,21	15,52
2010/2011	0,00	3,50	2,33
2011/2012	0,08	4,16	2,80
2012/2013	0,72	4,88	3,49
2013/2014	0,38	3,23	2,28
2014/2015	0,00	1,92	1,28
Média	0,32	4,47	3,08
R <sup>2</sup>		0,91**	0,92**

(\*\*) significativo a 1 % para regressão linear com número médio de ocorrências

Verificou-se que o número de ocorrências relatado no período “Entressafra” influenciou positivamente no número de relatos tanto do período “Safrá”, como “Ano Todo”, com um coeficiente de determinação, conforme regressão polinomial quadrática ( $R^2$ ), da ordem de 0,91 e 0,92, respectivamente. O nível de significância foi de 1% (Figura 9).

Os resultados confirmaram a importante influência da precipitação sobre a epidemia, porém, a quantidade de inóculo inicial referenciado neste trabalho como as ocorrências verificadas no período “Entressafra”, pode também ter explicado os efeitos positivos sobre as ocorrências do período “Safrá” e “Ano Todo” (CANTERI et al.(2007b); DEL PONTE (2006b) e MINCHIO (2011).

Estas informações indicaram que dependendo das ocorrências relatadas no site do CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM para o período de “Entressafra”, este número poderá influenciar diretamente nas ocorrências durante a “Safrá” vindoura, numa relação quadrática, ao nível de 1% de significância.



**Figura 9** Relação entre número médio de relatos de ferrugem asiática da soja verificados no período “Ano Todo” (A) eixo Y, decorrentes do efeito do número médio de relatos verificados no período “Entressafra”, eixo X, com números médios observados dentro de cada safra e número médio de relatos de ferrugem asiática da soja verificados no período “Safra” (B) eixo Y, decorrentes do efeito do número médio de relatos verificados no período “Entressafra”, eixo X, com números médios observados dentro de cada safra, independentemente da região para as 12 regiões do INPE, no Estado do Mato Grosso.

Esta observação é relevante para o estudo da epidemia, uma vez que para os resultados obtidos com as variáveis de ordem meteorológica, para o período “Entressafra”, não evidenciou-se relação forte com o número de ocorrências, porém, o que parece claro, neste momento, que o número de ocorrências deve ser melhor acompanhado durante o período “Entressafra”, pois este número associado com o acompanhamento dos índices SST

Niño 3.4 e precipitação pluviométrica possibilitarão prever com maior clareza as ocorrências prováveis para o período “Safrá” e “Ano Todo”, no decorrer do ano agrícola.

Uma questão de importância relevante para a explicação da sobrevivência do hospedeiro no período “Entressafrá” é, como isto poderia ocorrer em condições de estiagem, típica neste período para o Estado do Mato Grosso? A não sobrevivência do hospedeiro neste período significa a não sobrevivência do patógeno também. As respostas a esta indagação poderia estar: 1) na provável produção de inóculo a partir de plantas voluntárias sobreviventes no vazío sanitário, em áreas de pivô central; 2) na rápida multiplicação do patógeno a partir de áreas comerciais semeadas logo após o período de vazío sanitário, também sob pivô central; 3) uredósporos vindos de lavouras comerciais semeadas durante o cultivo de inverno no território boliviano, que produziriam inóculo suficiente para o início do período chuvoso no Estado do Mato Grosso.

Mesmo com condições meteorológicas adversas à sobrevivência do patógeno no Estado do Mato Grosso, no período “Entressafrá”, o mesmo sobreviveu nestas condições ou em outras condições artificiais produzidas pela irrigação e interferiu diretamente nas ocorrências do período “Safrá”.

A relação diretamente proporcional à precipitação pluviométrica, indicou que a multiplicação e disseminação do patógeno, representada pelo aumento do número de relatos no CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM foi proporcional ao aumento do volume da Precipitação Pluviométrica trimestral no Estado do Mato Grosso.

## CONCLUSÃO

As ocorrências de ferrugem asiática do período “Safrá” e período “Ano Todo”, obtidas do site do CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM, tem relação com o índice Temperatura na Superfície do Mar (SST Niño 3.4), do Oceano Pacífico tropical e a precipitação pluviométrica, para os diferentes trimestres do ano, dentro das regiões e safras analisadas.

Verificou-se que as ocorrências relatadas no período “Entressafrá” influenciaram positivamente nas ocorrências tanto do período “Safrá” como “Ano Todo”

## REFERÊNCIAS

- BERGAMIN FILHO, A. Epidemiologia comparativa: ferrugem da soja e outras doenças. In: Zambolin, L. (Org.) **Ferrugem Asiática da Soja**, Visconde do Rio Branco: Suprema Gráfica e Editora. 2006. pp.15-35.
- BERLATO, M.A.; FARENZENA, H.; FONTANA, D.C. Associação entre El Niño Oscilação Sul e a produtividade do milho no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.5, p.423-432, 2005.
- BERLATO, M.A.; FONTANA, D.C. Variabilidade interanual da precipitação e variabilidade dos rendimentos de soja no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.7, n.1, p.119-125, 1999.
- BLAIN, G.C. Aplicação do conceito do índice padronizado de precipitação à serie decenal da diferença entre precipitação pluvial e evapotranspiração potencial. *Bragantia*. Campinas, v.70, n.1, p.234-245, 2011.
- BLAIN, G.C.; BRUNINI, O. Quantificação da seca agrícola pelo índice padronizado de evapotranspiração real (IPER) no Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v.65, n.3, p.517-525, 2006.
- BLAIN, G.C.; BRUNINI, O. Análise da escala temporal de monitoramento das secas agrícolas e meteorológicas no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.22, n.2, 255-261, 2007.
- BONDE, M.R.; BERNER, D.K.; NESTER, S.E.; FREDERICK, R.D. Effects of temperature on urediniospore germination germ tube growth, and initiation of infection in soybean by *Phakopsora* isolates. **Phytopathology**, v.97, n.8, p.997-1003, 2007.
- BRASIL/CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Terceiro Levantamento. Brasília, v2, n.3, p.1-100, 2014.
- BRASIL/CONSORCIO ANTIFERRUGEM. **Consórcio antiferrugem**. Disponível em: <http://www.consorcioantiferrugem.net>, acessado em 10/08/2015.
- BRASIL/INPE Informações sobre produtos de monitoramento climático mensal e sazonal das chuvas no Brasil na página do CPTEC/INPE. CPTEC/INPE. Cachoeira Paulista. 2014. Disponível em: [http://clima1.cptec.inpe.br/~rclima1/pdf/Documento\\_produto\\_indice.pdf](http://clima1.cptec.inpe.br/~rclima1/pdf/Documento_produto_indice.pdf), acessado em 08/08/2015.
- BROMFIELD, K. **Soybean rust**. Monografia nº 11. The American Phytopathological Society. St. Paul, 65p., 1984.

- CANTERI(a), M.G.; DEL PONTE, E.M.; GODOY, C.V.; TSUKAHARA, R.Y. Emprego de tecnologia da informação para previsão de epidemias e zoneamento agroclimático aplicáveis no controle de doenças de plantas. **Summa Phytopathologica**, v.23, p.121-124, 2007
- CANTERI(b), M.G.; TSUKAHARA, R.Y.; SILVA, O.C. Monitoramento das variáveis ambientais para controle da ferrugem asiática da soja. In: XL Congresso Brasileiro de Fitopatologia, 2007, Maringá. **Fitopatologia Brasileira**. Brasília : SBF, 2007. v. 32. p. 65-66.
- DEL PONTE(a), E.M.; GODOY, C.V.; LI, X.; YANG, X.B. Predicting severity of asian soybean rust epidemics with empirical rainfall models. **Phytopathology**, v.96, n.7, p.797-803, 2006.
- DEL PONTE(b), E.M. Retrospectiva e tendências em modelagem matemática e previsão de ferrugem asiática. **Revista Plantio Direto**, p.21-30, nov/dez 2006
- DEL PONTE, E.M.; ESKER, P.D. Considerações epidemiológicas na avaliação de risco e manejo da ferrugem asiática da soja. In: XL Congresso Brasileiro de Fitopatologia, 2007, Maringá. **Fitopatologia Brasileira**, 2007. v. 32. p. S58-S60.
- DIAZ, A.F.; STUDZINSKI, C.D. MECHOSO, C.R. Relationships between precipitation anomalies in Uruguay and Southern. **Journal of Climate**, v.11, p.251-271, 1998.
- DUFAULT, N.S.; ISARD, S.A.; MAROIS, J.J.; WRIGHT, D.L. Removal of wet deposited *Phakopsora pachyrhizi* urediniospores from soybean leaves by subsequent rainfall. **Plant Disease**, St. Paul, v. 94, n. 11, p. 1336-1340, 2010.
- EUA/NOAA. National Oceanic Atmospheric Administration. Disponível em <<http://www.cpc.ncep.noaa.gov>>, acessado em 10/08/2015.
- FERREIRA, D.B. Relações entre a variabilidade da precipitação e a produtividade agrícola de soja e milho nas regiões sul e sudeste do Brasil. Dissertação. INPE. São José dos Campos, 2005.
- FIALLOS, F.R.G. A ferrugem asiática da soja causada por *Phakopsora pachyrhizi* Sidow e Sidow. **Ciencia y Tecnología**, v.4, n.2, p.45-60, 2011.
- FONTANA, D.C.; BERLATO, M.A. Relação entre o El Niño Oscilação Sul (ENOS), precipitação e rendimento de milho no Estado do Rio Grande do Sul. Pesquisa Agropecuária Gaúcha, Porto Alegre, v.2, n.1, p.39-45, 1996.
- HARDAKER, J.B.; HUIRNE, R.B.M.; ANDERSON, J.R. **Coping with risk in agriculture**. Oxon: CAB International, 1997. p.274.
- HARTMAN, G.L.; MILES, M.R.; FREDERICK, R.D. Breeding for resistance to soybean rust. **Plant Disease**, v.89, n.6, p.664-666, 2005

- HENNEN, J.F. The taxonomy of the soybean rusts. P.29-32. In: SINCLAIR, J.B.; HARTMAN, G.L.(eds). **Proceedings of the rust workshop**, 9-10 August, 1995
- KOCHMAN, J.K. The effect of temperature on development of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*). **Australian Journal of Agricultural Research**, v.30, n.2, p.273-277, 1979.
- KOUSKY, V.E.; CAVALCANTI, I.F.A. Eventos Oscilação Sul/El Niño. Características, evolução e anomalias de precipitação. **Ciência e Cultura**, v.36, n.11, p.1888-1899, 1984.
- KOUSKY, V.E.; KAYANO, M.T.; CAVALCANTI, I. F. A. A review of the southern oscillation oceanic atmospheric circulation changes and related rainfall anomalies. **Tellus** , v.36, p.490-504, 1984.
- FIALLOS,
- LI, X.; YANG, X.B.; MO, J.Y; GUO; T.X. Estimation of soybean rust uredospore terminal velocity, dry deposition, and the wet depositon associated with rainfall. **European Journal of Plant Pathology**, v.123, p.377-386, set 2008.
- MARCHETTI, M.A.; UECKER, F.A.; BROMFIELD, K.R. Uredial development of *Phakopsora pachyrhizi* in soybeans. **Phytopathology**, v.65, p.822-823, julho 1975.
- McKEE, T.B.; DOESKEN, N.; KLEIST, J. The relationship of drought frequency and duration to time scales. Eight Conference on Applied Cimatology. Anaheim, California. Jan, 1993.
- MEGETO, G.A.S.; OLIVEIRA, S.R.M.; DEL PONTE, E.M.; MEIRA, C.A.A. Árvore de decisão par classificação de ocorrências de ferrugem asiática em lavouras comerciais com base em variáveis meteorológicas. Engenharia Agrícola. Jaboticabal, v.34, n.3, p.590-599, 2014.
- MELCHING, J.S.; DOWLER, W.M.; KOOGLE, D.L.; POYER, M.H. Effects of duration, frequency and temperature of leaf wetness periods on soybean rust. **Plant Disease**, v.73, p.117-122, fevereiro 1989.
- MINCHIO, C. A. Determinação da provável origem do inóculo de *Phakopsora pachyrhizi* e interação entre estágio fenológico, favorabilidade ambiental e presença do inóculo para controle da doença. **Dissertação de Mestrado em Agronomia**. Universidade Estadual de Londrina, Londrina, ,2011, 116p.
- PATIL, V.S.; WUIKE, R.V.; CHIRAME, B.B.; THAKARE, C.S. Viability and survival of uredospores of *Phakosora pachyrhizi* SYD in plant debries under different storage conditions. **Journal of Soils and Crops**, v.8, n.1, p.16-19, junho 1998
- PIVONIA, S. YANG, X.B. Assessment of the potential year-round establishment of soybean rust throught the world. **Plant Disease**, v. 88, p. 523-529, mai 2004.

- RAO, V.B.; HADA, K. Characteristics of rainfall over Brazil: annual variations and connections with the Southern Oscillation. **Theoretical Applied Climatology**, v.42, p.81-91, 1990.
- ROPELEWSKI, C.F.; HALPERT, M.S. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño / Southern Oscillation. **Monthly Weather Review**, v.115, p. 1606-1626, 1987.
- ROPELEWSKI, C.F.; HALPERT, M.S. Precipitation patterns associated with the high index phase of the southern oscillation. **Journal of Climate**, v. 4, p. 268-284, 1989.
- RUPE, J.; SCONYERS, L. Soybean rust. The Plant Health Instructor. DOI: 10.1094/PHI-I-2008-0401-01 2008. Disponível em:  
<http://www.apsnet.org/idcenter/intropp/lessons/fungi/Basidiomycetes/Pages/SoybeanRust.aspx>, acessado em 12/06/2011.
- SCHMITZ, H.F.; GRANT, R.H. Precipitation and dew in a soybean canopy: spatial variations in leaf wetness and implications for *Phakopsora pachyrhizi* infection. **Agricultural and forest meteorology**, v.149, p.1621-1627, março, 2009
- SINCLAIR, J.B.; HARTMAN, G.L. **Proceedings of the soybean rust workshop**. National Soybean Research Laboratory. University of Illinois of Urbana Champaign, n.1, 9-11 agosto, 1995
- TAN, Y.J.; YU, Z.L.; LIU, J.L. Studies on the epidemic regulation and control of soybean rust caused by *Phakopsora pachyrhizi* Sydow. Urbana-Champaign: University of Illinois, 1983. p.169-174. (INTSOY Series).
- TEIXEIRA, C.F.A.; DAMÉ, R.C.F.; BACELAR, L.C.S.; SILVA, G.M.; COUTO, R.S. Intensidade da seca utilizando índices de precipitação. **Revista Ambiente & Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v.8, n.3, 2013.
- TSCHANZ, A.T.; WANG, T.C.; TSAI, B.Y. Recent advances in soybean rust research. In: SHANMUGASUNDARAM, S.; SULZBERGER, E.W.; MCLEAN, B.I. **Soybean in tropical and subtropical cropping system**. Asian vegetable research and development center, p.237-245, 1984
- TSCHANZ, A.T.; SHANMUGASUNDARAM, S. Soybean rust. In: World soybean research conference III; Proceedings./ ed. by Shibles, R.; Boulder, CO : Westview Press. p.562-567. ref. (Text in En) (AVRDC/SP) (AVRDC Staff Publication) (SB205.S7W6 1985). Disponível em: <<http://203.64.245.61/pub-5.htm>>, acessado em 12/06/2011.

TSUKAHARA, R.Y.; HIKISHIMA, M.; CANTERI, M.G. Relações entre o clima e o progresso da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) em duas micro-regiões do Estado do Paraná. **Semina: Ciências Agrárias**, v.29,n.1, p.47-52, jan 2008

YORINORI, J.T.; PAIVA, W.M.; FREDERICK, R.D.; COSTAMILAN, L.M.; BERTAGNOLLI, P.F. Epidemics of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in Brazil and Paraguay from 2001 to 2003. **Plant Disease**, v.89, n.6, p. 675-677, junho 2005.

**ARTIGO D: MODELO MATEMÁTICO PARA PREVISÃO DE EPIDEMIAS DE FERRUGEM ASIÁTICA A PARTIR DO FENÔMENO ENOS, PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA E OCORRÊNCIA DA DOENÇA NA ENTRESSAFRA PARA O ESTADO DO PARANÁ.**

*Mathematical model for prediction of Asian soybean rust from the ENSO phenomenon, rainfall and Asian rust occurrence in the off season for Parana State..*

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi desenvolver modelos que pudessem ser utilizados em previsão de epidemias de ferrugem asiática da soja a partir dos índices de variabilidade climática e a ocorrência da doença no período da entressafra. Utilizou-se dados de 11 safras agrícolas, distribuídas em 6 regiões do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), para o Estado do Paraná. Foram realizadas análises de regressão polinomial linear e quadrática, para desenvolver um modelo tridimensional. As variáveis climáticas foram consideradas como variáveis independentes (Y) utilizando-se a Precipitação Pluviométrica, Índice Padronizado de Precipitação (SPI), Índice de Oscilação Sul (IOS) e Temperatura na Superfície do Mar (SST Niño 3.4), no Oceano Pacífico Tropical, todos para espaço temporal trimestral. As ocorrências de sintomas de ferrugem no período de “Entressafra” foram consideradas a variável independente (X). O modelo estimou os efeitos sobre as ocorrências da safra (Z - variável dependente), relatadas no *site* do Consórcio Antiferrugem. Os modelos que melhor explicaram a epidemia da doença no período “Safra” utilizaram as ocorrências na “Entressafra” (X) com a Precipitação pluviométrica (Y) e também com o SST Niño 3.4 (Y), em regressão quadrática, desenvolvido com constante matemática igual a zero, obtendo-se  $R^2$  de 0,87 para ambos. Os modelos foram  $Z=2,6740X+0,0269Y+0,00002Y^2$  e  $Z=3,0398X+5,1568Y+21,6882Y^2$ , para precipitação pluviométrica e SST Niño 3.4, respectivamente.

**Palavras-chave:** Clima, epidemiologia, modelagem, *Phakopsora pachyrhizi*, prevendo.

## ABSTRACT

The objective of this study was to develop models that can be used in prediction of Asian soybean rust epidemics from climate variability index and the occurrence of disease in the period between harvests. It used data from 11 agricultural crops, distributed in 6 regions of coverage of the National Institute for Space Research (INPE) for the State of Paraná. Linear and quadratic polynomial regression analyzes were performed to develop a three-dimensional model. Climate variables were considered as independent variables (Y) using the rainfall, standardized index of precipitation (SPI), southern oscillation index (SOI) and sea surface temperature (SST Niño 3.4), in the Tropical Pacific Ocean, all for quarterly timeline. The occurrences of rust symptoms in the “off-season” was considered the independent variable (X). The model estimated the effect of occurrences of “harvest” (dependent variable - Z), reported in the Anti-rust Consortium website. The models that best explained the epidemic of disease for “harvest” used the occurrences of the “off-season” (X) with rainfall precipitation (Y) and also with the SST Niño 3.4 (Y) in quadratic regression, developed with mathematic constant igual to zero, yielding  $R^2$  of 0.87 for both. The models were  $Z = 2,6740X + 0,0269Y + 0,00002Y^2$  and  $Z = 0398X + 5,1568Y + 21,6882Y^2$  to rainfall and SST Niño 3.4, respectively.

**Key words:** Climate, epidemiology, modeling, *Phakopsora pachyrhizi*, predicting.

## INTRODUÇÃO

O Estado do Paraná se destaca como o segundo maior produtor de soja do Brasil, com produção em torno de 17 milhões de toneladas do grão, previstos na safra 2014/2015 (BRASIL/CONAB, 2014).

Um dos entraves que dificultam a plena produtividade da cultura é o complexo de doenças e dentre elas, está a ferrugem asiática da soja, causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi* Syd. & P. Syd., que tem um grande potencial destrutivo da lavoura. Em condições favoráveis à doença, são relatadas perdas que variam de 10 a 90% da produção (YORINORI et al.; HARTMAN et al., 2005).

*Phakopsora pachyrhizi* é considerado parasita obrigatório, sobrevivendo em outras plantas hospedeiras, plantas voluntárias de soja e lavouras de soja cultivadas na entressafra. O patógeno pode vir de regiões onde se encontra o hospedeiro, multiplicando-se pelo caminho, até chegar nas demais regiões produtoras ainda não infectadas (HENNEN, 1995; PIVONIA & YANG, 2004).

Os hospedeiros alternativos, soja voluntária e plantios de safrinha, embora difícil de ser quantificado na prática, mantêm vivo o patógeno no período de entressafra servindo de fonte precoce de inóculo para a safra normal, todavia, somente o fato de sua presença não significa alto risco de infecções (DEL PONTE & ESKER, 2007).

Seixas & Godoy (2007), relataram que pesquisadores e técnicos chamavam a atenção para o risco de se cultivar soja durante o período de safrinha pelo fato de se estabelecer uma “ponte verde” que favorecesse a sobrevivência e multiplicação do fungo biotrófico. Além disso, plantas voluntárias oriundas de grãos caídos durante a colheita poderiam contribuir para a manutenção do fungo nas áreas de produção.

Diversos autores têm confirmado a existência de correlação entre a severidade da epidemia com a ocorrência das primeiras chuvas e o aumento de sua intensidade (BROMFIELD, 1984; TSCHANZ et al.1984; TSCHANZ & SHANMUGASUNDARAM, 1985; BERGAMIN FILHO, 2006; DEL PONTE et al., 2006a; MEGETO et al., 2014).

Evidências indicaram que a chuva exerce influência sobre a epidemia de *P. pachyrhizi*, porém não são apenas as condições do tempo ou o ambiente que regulam as epidemias, pois o progresso da doença é influenciado pela quantidade de inóculo inicial que também explica a variação da severidade da doença em semeaduras antecipadas ou tardias (CANTERI et al.,2007; DEL PONTE, 2006b; MINCHIO, 2011).

Por outro lado, precipitação pluviométrica de maior intensidade (entre 45 a 85 mm.h<sup>-1</sup>) influenciou positivamente na remoção de esporos de *Phakopsora pachyrhizi* depositados sobre as folhas, que indicariam um possível efeito negativo da chuva (DUFALTY et al, 2010).

A principal fonte conhecida da variabilidade climática interanual com atuação em todo o globo é o fenômeno chamado El Niño Oscilação Sul (ENOS), o qual provoca anomalias no escoamento atmosférico em escala global (KOUSKY et al.,1984; KOUSKY & CAVALCANTI, 1984).

As anomalias climáticas extremas estão relacionadas com as fases quente (El Niño) e fria (La Niña) do ENOS. Este fenômeno tem origem no Oceano Pacífico Tropical e é resultado de uma interação oceano-atmosfera, em que ocorre uma variação da temperatura da superfície do mar (em inglês SST – Surface Sea Temperature), na parte central e junto à costa oeste da América do Sul (Niño 3, Niño 3.4 e Niño 4), em associação com os campos de pressão (referentes ao IOS – Índice de Oscilação Sul) afetando consequentemente o clima em diversas partes do mundo (ROPELEWSKI & HALPERT, 1987, 1989).

Vários índices têm sido utilizados para medir a intensidade do ENOS, dentre eles o IOS, que reflete a diferença de pressão atmosférica entre Taiti (17,5 °S – 149,6 °W) e Darwin (12,4 °S – 130,9 °E), localizados na Austrália. O IOS mede a intensidade da Oscilação Sul (componente atmosférico), na região Niño 3 e a SST mede a intensidade do El Niño (componente oceânica).

Os efeitos do ENOS no Brasil podem ser vistos na parte Norte da Região Nordeste e a região Sul. No sul do Brasil, a fase quente (El Niño) em geral está associada com excesso de chuva durante a primavera do primeiro ano e posteriormente o fim do outono e início do inverno do segundo ano. Na fase fria (La Niña), a precipitação apresenta-se abaixo da normal na primavera e começo do verão (BERLATO et al., 2005).

Vários estudos relacionaram os impactos intra-regionais das fases ENOS sobre o regime de precipitação e seus efeitos sobre a variabilidade climática e a produtividade das culturas (FONTANA & BERLATO, 1996; RAO et al., 1990, 1997, DIAZ et al., 1998).

O índice padronizado de precipitação (em inglês Standarized Precipitation Index – SPI) desenvolvido por McKee et al. (1993) é um quantificador de seca meteorológica que vem sendo utilizado em diversas partes do mundo, sendo capaz de monitorar este fenômeno climático em diversas escalas de tempo, reconhecendo diferentes tipos de seca em sua análise, utilizando apenas dados de precipitação pluviométrica.

De acordo com Blain & Brunini (2007b) e Teixeira et al. (2013), do ponto de vista meteorológico, o índice padronizado de precipitação (SPI) é uma das ferramentas mais

adequadas para a quantificação da seca, sendo utilizado em diversas partes do mundo em programas e ações governamentais que visam realizar a análise de riscos e adotar medidas que diminuam o impacto socioeconômico causado pelas seca. O evento seca começa quando o SPI torna-se negativo e atinge o valor de -1 e termina quando este volta a apresentar valores positivos.

Um projeto que tornava disponíveis as informações sobre a ocorrência de ferrugem asiática da soja em todo o território brasileiro, através de uma plataforma de dados, visível em *website* foi idealizado e colocado em prática pelo Laboratório de Epidemiologia de Plantas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e o Grupo de Pesquisa Mosaico da Universidade de Passo Fundo – RS, responsável pela construção e manutenção do sistema, que foi denominado CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM. A EMBRAPA-SOJA, ficou responsável pela coordenação e o gerenciamento do conteúdo do website. A alimentação do sistema é feita por laboratórios e pesquisadores devidamente credenciados pelo consórcio (BRASIL/CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM, 2015).

No Brasil as plataformas computacionais desenvolvidas com a finalidade de se mapear riscos de epidemias estão baseadas em elementos meteorológicos como umidade relativa acima de 90%, temperatura do ar, duração do período de molhamento (CANTERI et al., 2007; REIS, 2004), visando definição de mapas de riscos climáticos e alertar para a necessidade de aplicação de fungicidas na lavoura.

Em revisão sobre previsão de risco da ferrugem asiática da soja, constatou-se ser a chuva responsável pela dispersão da doença em macroescala, associada à prevalência e dispersão da doença na América do Sul. Analisando as detecções no Paraná e Rio Grande do Sul verificou-se dispersão mais lenta da doença em anos mais secos do que em anos chuvosos, que resultaram em maior risco da doença (DEL PONTE, 2006b).

Del Ponte & Esker (2007) concluíram que embora se disponha de modelos de previsão, ainda não se pode dispensar as atividades de monitoramento da dispersão da doença e divulgação de focos, ou mesmo da presença do inóculo no local, para avaliação em tempo real da doença.

Os modelos atuais de previsão têm limitada capacidade de estimar corretamente a presença e a concentração do inóculo que irá iniciar as epidemias (DEL PONTE & ESKER, 2007).

Reis (2009) relatou que poucos modelos de previsão baseiam-se no monitoramento do inóculo relacionando-o com o início do desenvolvimento da doença, por serem muito laboriosos. A maioria dos sistemas disponíveis tem como base os requerimentos climáticos

para a multiplicação do inóculo e para a infecção.

Diante disso os modelos de previsão assumem que o inóculo está presente no ambiente, podendo, devido a este fato, levar a falhas na emissão de aviso de risco da doença (REIS & CASA, 2009).

Canteri et al. (2005) avaliaram que o fungo pode ser eficientemente controlado por fungicidas desde que estes sejam aplicados no momento certo. Algumas áreas têm requerido duas ou mais aplicações, outras apenas uma. Um sistema de mapeamento de risco climático para doença de planta foi desenvolvido para indicar risco de infecção para diferentes regiões do Paraná, e indicou que as regiões oeste e noroeste têm os mais baixos riscos de desenvolvimento da doença, estando as regiões central e sul como as de maior risco.

Megeto et al. (2014) em estudo visando modelar a influência de elementos meteorológicos sobre o número de ocorrências de ferrugem asiática de soja, obtidos no site do CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM, utilizaram a técnica da indução de árvores de decisão, na qual verificaram que os valores encontrados indicaram que para menores quantidades de chuva, tanto em número de dias com precipitação acima de 1mm, quanto para maior volume de chuva em um único dia, houve maior ocorrência da doença.

Este trabalho teve por objetivo desenvolver modelos que possam ser utilizados em previsão de epidemias de ferrugem asiática da soja, a partir da relação entre os índices de variabilidade interanual da precipitação pluviométrica, a partir de valores de precipitação pluviométrica acumulada, índice padronizado de precipitação (SPI), índice de oscilação sul (IOS) e índice de Temperatura na Superfície do Mar (SST), com o número de ocorrências da doença no período da entressafra, para o Estado do Paraná.

## MATERIAL E MÉTODOS

### DADOS METEOROLÓGICOS

Os dados utilizados de IOS, da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) encontram-se disponíveis na internet, <<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/>>. Os dados lá disponíveis estão na escala temporal mensal e trimestral e foram calculados utilizando anomalias normalizadas das pressões atmosféricas na superfície do mar em Darwin e Taiti.

Para o estudo da SST no número de ocorrências de ferrugem asiática, foi considerada uma região sobre o Oceano Pacífico Tropical, definida como Niño 3.4, compreendida entre as latitudes de 5° N a 5° S e longitudes de 170° W a 120° W para o acompanhamento das fases do ciclo ENOS, para a qual estão disponíveis os índices de anomalias trimestrais no site do NOAA.

As regiões Niño 3.4 e Niño 4 abrangem a área onde ligeiros aumentos ou diminuições em SST podem ter um grande impacto onde a convecção é encontrada, no Pacífico ocidental e central e são as áreas-chave para o monitoramento e previsão de eventos ENOS. Os dados de SST Niño 3.4 em escala temporal trimestral foram obtidos diretamente no site do NOAA (EUA/NOAA, 2015).

O cálculo do SPI envolve o ajuste da série histórica de precipitação a uma distribuição de probabilidade Gama, seguido de transformação (mapeamento) do percentil correspondente ao valor de precipitação acumulada observada em anomalia padronizada de uma distribuição normal (Gaussiana) com média igual a zero e desvio padrão igual a um.

O SPI é determinado a partir das funções de densidade de probabilidade que descrevem as séries históricas de precipitação nas diferentes escalas de tempo utilizadas (1 a 60 meses). Foram consideradas para fins de ajuste, as distribuições normal e gama2. Conhecida (ajustada) a função de distribuição de probabilidade acumulada, a chance de uma dada quantidade de precipitação observada é obtida e o SPI é computado usando a distribuição inversa (McKEE et al., 1995). No caso das precipitações acumuladas num dado intervalo de tempo (1, 3, 6, 9, 12, 48 e 60 meses) terem uma distribuição normal, o SPI é simplesmente a variável reduzida da distribuição normal  $z_i$ :

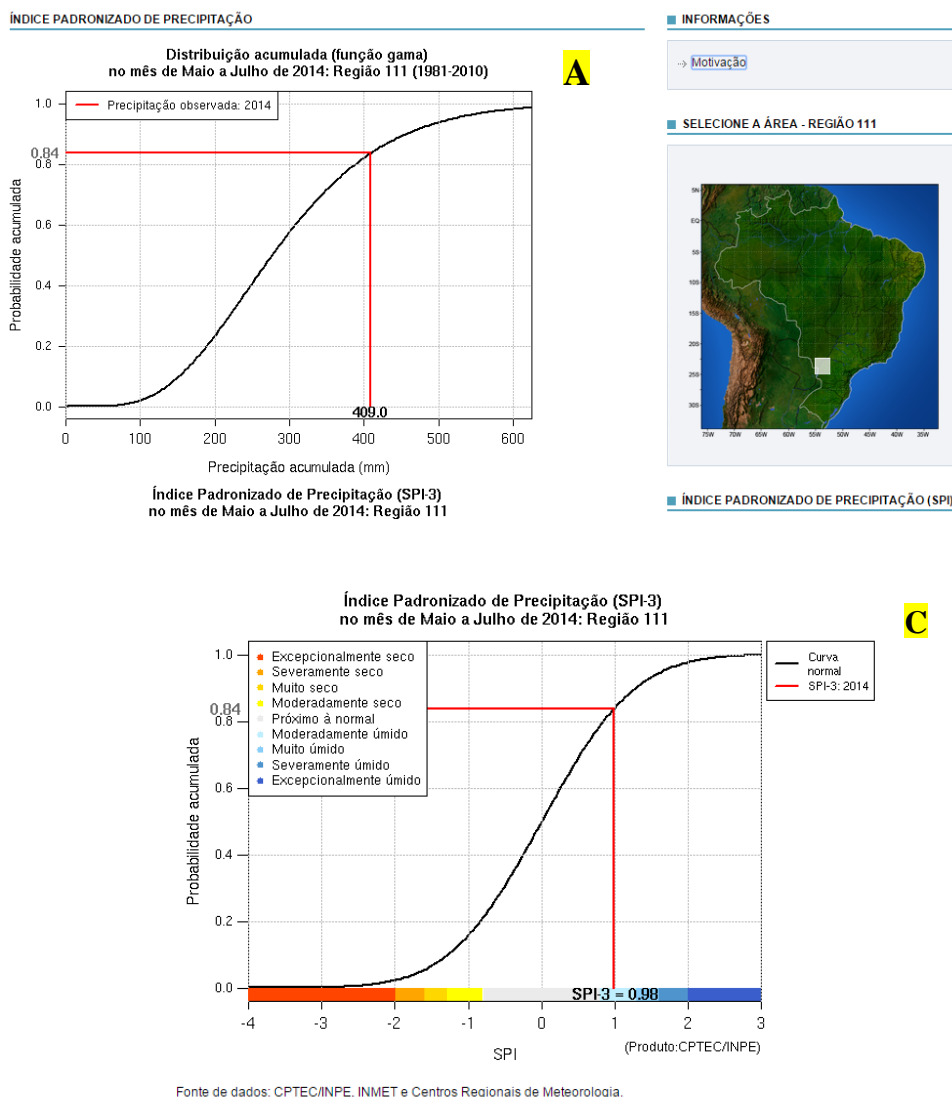
$$\text{SPI} = z_i = (P_i - \bar{A}_i) / \sigma_i$$

na qual  $P_i$  é a precipitação observada e  $\bar{A}_i$  e  $\sigma_i$  respectivamente, a média e o desvio padrão da série ajustada.

O produto disponibilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), mostra inicialmente a curva Gama da distribuição de probabilidade acumulada da precipitação ajustada utilizando os dados históricos de precipitação de 1981 a 2010, indicando o valor da chuva observada no período em questão (eixo X) e o valor de probabilidade de ocorrência deste ou inferior valor (eixo Y). O segundo gráfico expressa a curva de distribuição normal (Gaussiana) indicando o valor do índice SPI (eixo X) associado ao percentil correspondente ao valor de precipitação acumulada observado na data em questão (eixo Y) (Figura 1).

De acordo com os dados do INPE, o SPI está disponível nas escalas de tempo de 1, 3, 6, 12, 24 e 48 meses, significando o período durante o qual se acumula o valor de precipitação: o SPI-1 corresponde à precipitação mensal, o SPI-3 corresponde à precipitação acumulada em 3 meses, e assim por diante.

Para investigar as relações entre o tempo e o aparecimento de sintomas de ferrugem asiática da soja nas regiões do Estado do Paraná, foram utilizados os dados existentes no banco de dados do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos/ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE), Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e Centros Estaduais/Regionais de Meteorologia, disponibilizados no site do CPTEC/INPE ([www.cptec.inpe.br/clima](http://www.cptec.inpe.br/clima)), com período disponibilizado de dados da safra 2004/2005 até 2014/2015 (BRASIL/INPE, 2015).



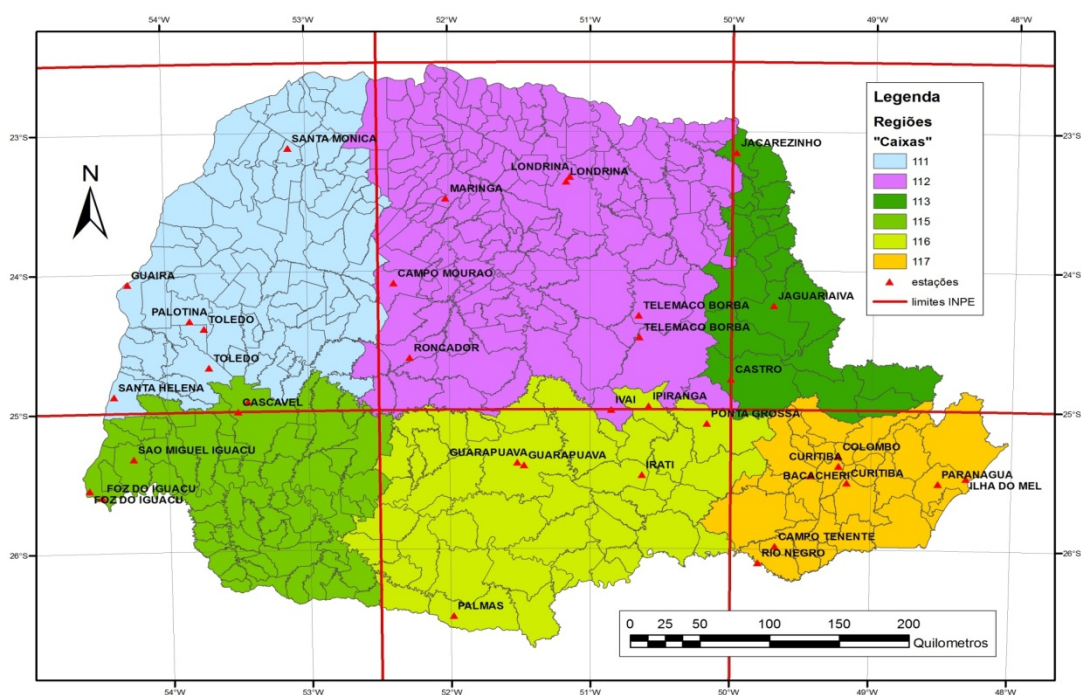
**Figura 1** – Exemplo de visualização no site CPTEC/INPE dos dados de SPI-3 (trimestral) referente aos trimestre MJJ (Maio-Junho-Julho) de 2014, para a região (caixa) 111, correspondente à região noroeste do Estado do Paraná (BRASIL/INPE, 2015), onde **A** refere-se ao gráfico da precipitação acumulada no trimestre Maio-Junho-Julho de 2014 (mm) versus probabilidade de ocorrência (%), frente ao histórico de precipitação, normal climatológica (1981-2010); **B**, região 111 (2,5° x 2,5°), do INPE, sobre o Estado do Paraná, e **C**, gráfico de propabilidade de ocorrência da precipitação acumulada verificada e SPI-3 (Maio-Junho-Julho).

## ESTADO DO PARANÁ

Os dados de precipitação acumulada trimestral foram obtidos a partir do site do CPTEC/INPE são referentes a 36 estações meteorológicas do INMET e Centros Estaduais/Regionais de Meteorologia distribuídas ao longo do Estado do Paraná, localizadas

nos municípios de Curitiba (3 estações), Campo do Tenente, Campo Largo, Campo Mourão, Cascavel (2 estações), Castro, Colombo, Foz do Iguaçu (2 estações), Guaíra, Guarapuava (2 estações), Ilha do Mel, Ipiranga, Irati, Ivai, Jacarezinho, Jaguariaíva, Londrina (2 estações), Maringá, Palmas, Palotina, Paranaguá, Ponta Grossa, Rio Negro, Roncador, Santa Helena, Santa Mônica, São Miguel do Iguaçu, Telêmaco Borba e Toledo (2 estações).

Os dados de precipitação pluviométrica acumulada (mm) são produtos disponibilizados através de visualização gráfica, com o valor SPI calculado para a escala temporal de 3 meses (trimestre), a partir de janeiro de 1981 até os meses do ano corrente, abrangendo 124 regiões (caixas de 2,5° x 2,5° de latitude e longitude sobre o Brasil. No caso do Paraná, as regiões 111, 112, 113, 115, 116 117 são específicas do Estado do Paraná, de onde foram obtidos os dados para a elaboração deste artigo (Figura 2).



**Figura 2** Mapa do Estado do Paraná, com a localização das regiões estabelecidas pelo INPE e as estações meteorológicas que coletam dados para a base do INPE (Fonte: BRASIL/INPE(2015), adaptado por Caviglione (2015).

#### OCORRÊNCIA DE SINTOMAS: CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM

As informações relacionadas à ocorrência de sintomas de ferrugem asiática da soja nas diferentes regiões do Estado do Paraná, foram obtidas a partir do CONSÓRCIO

ANTIFERRUGEM (<<http://www.consortioantiferrugem.net>>), para o período total de dados existentes no site, iniciando pela safra 2004/2005 até 2014/2015.

Os eventos foram agrupados por mês de ocorrência e posteriormente, somados para um espaço temporal de 3 meses. Pelo agrupamento de eventos ocorridos, de forma sazonal, ficaram distribuídos pelos trimestres NDJ (Novembro-Dezembro-Janeiro), DJF (Dezembro-Janeiro-Fevereiro), JFM (Janeiro-Fevereiro-Março), FMA (Fevereiro-Março-Abril), MAM (Março-Abril-Maio), AMJ (Abril-Maio-Junho), MJJ (Maio-Junho-Julho), JJA (Junho-Julho-Agosto), JAS (Julho-Agosto-Setembro), ASO (Agosto-Setembro-Outubro), SON (Setembro-Outubro-Novembro), OND (Outubro-Novembro-Dezembro).

Os dados por cidade onde a ferrugem foi diagnosticada pelo Laboratório credenciado pelo CONSÓRCIO, foram agrupados em regiões definidas pela base de dados do INPE, sendo: 111, 112, 113, 115, 116 e 117, conforme demonstrado na Tabela 1 e Figura 2.

Foi utilizada regressão polinomial linear (FERREIRA, 2005) e polinomial quadrática, visando analisar a relação entre as ocorrências acumuladas nos trimestres, verificadas em diferentes períodos: “Ano Todo”, “Safra” e “Entressafra”, com os índices de variabilidade climática: precipitação pluviométrica acumulada trimestral, SPI-3, IOS-3 e SST Niño 3.4, nos períodos: “Ano Todo” (todos os trimestres do ano), “Safra” [trimestres Julho-Agosto-Setembro (JAS), Agosto-Setembro-Outubro (ASO), Setembro-Outubro-Novembro (SON), Outubro-Novembro-Dezembro (OND), Novembro-Dezembro-Janeiro (NDJ), Dezembro-Janeiro-Fevereiro (DJF), Janeiro-Fevereiro-Março (JFM) e Fevereiro-Março-Abril (FMA)] e “Entressafra” [trimestres: Março-Abril-Maio (MAM), Abril-Maio-Junho (AMJ), Maio-Junho-Julho (MJJ) e Junho-Julho-Agosto (JJA)], para as regiões definidas pelo INPE. Os períodos “Safra” e “Entressafra” foram definidos de acordo com BRASIL/CONAB (2014).

Utilizou-se o programa computacional SIGMAPLOT para a elaboração do modelo que explicasse a relação entre as variáveis. Construiu-se um modelo tridimensional, onde a variável resposta foi definida como a estimativa do número médio de ocorrências no período “Safra”, denominada Z; as ocorrências do período “Entressafra” foram plotadas no eixo X; os valores médios trimestrais dos índices de variabilidade climática foram plotados de forma separada, um por vez, no eixo Y. No modelo considerou-se também a hipótese de que o valor de “c” fosse igual a zero (a função do valor “c” é indicar quando a parábola corta o eixo Y, com coordenadas  $X_1, Y_1$ , sendo  $X_1$  igual a zero, o valor de “c” corresponderia ao valor de  $Y_1$ , no caso de “c” igual a zero,  $Y_1$  também assumiria o valor 0). Nesta condição pressupõe-se não existir doença sem inóculo inicial e sem que haja condições de favorabilidade ambiental

para a ocorrência da infecção. Além dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ), também foi analisada a significância da regressão obtida para testar a validade do modelo.

Para as regressões polinomiais lineares que obtiveram um elevado coeficiente de determinação buscou-se uma melhor explicação do modelo, com a aplicação de regressão polinomial quadrática aos mesmos dados utilizados na regressão polinomial linear.

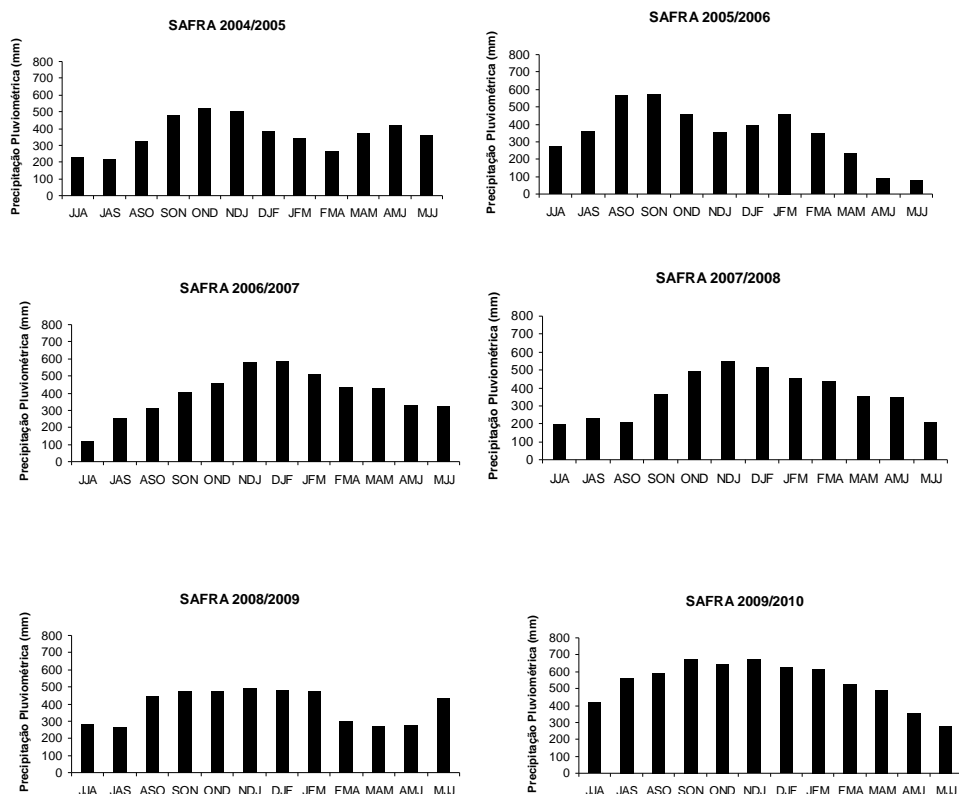
**Tabela 1** – Distribuição dos municípios com relato de ocorrência de ferrugem no CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM, nas safras 2004/2005 a 2014/2015, de acordo com sua região, para o Estado do Paraná, segundo BRASIL/INPE (2015).

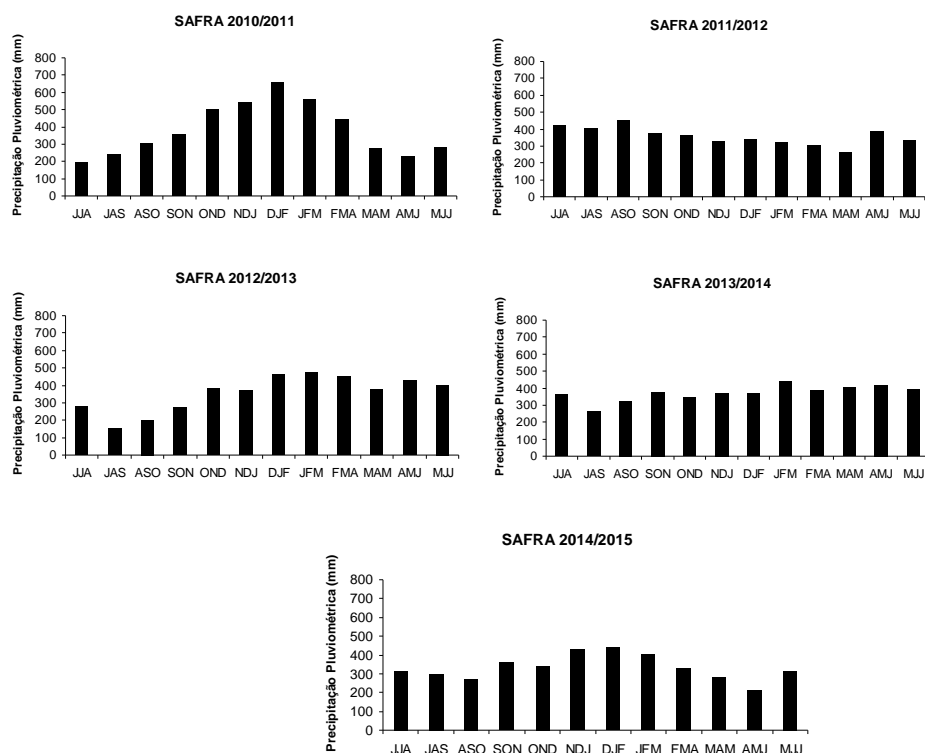
REGIÃO/ MUNICÍPIO	REGIÃO/ MUNICÍPIO	REGIÃO/ MUNICÍPIO	REGIÃO/ MUNICÍPIO	REGIÃO / MUNICÍPIO	REGIÃO/ MUNICÍPIO
<b>Região 111</b>	<b>Região 112</b>	<b>Região 112 (cont.)</b>	<b>Região 112 (cont.)</b>	<b>Região 115</b>	<b>Região 116</b>
Campina da Lagoa	Bandeirantes	Luiziana		Ampére	Coronel Vivida
Boa Esperança	Andirá	Kaloré	Terra Boa	Guaraniaçu	Candói
Brasilândia do Sul	Apucarana	Leópolis	Uraí	Santa Tereza do Oeste	Cantagalo
Cafelândia	Arapuã	Londrina	Ventania	Virmond	Chopinzinho Fernandes Pinheiro
Cianorte	Barbosa Ferraz	Lunardelli		Capanema	
Douradina	Barra do Jacaré	Mandaguari		Cascavel	Goioxim
Entre Rios do Oeste	Boa Ventura de São Roque	Manoel Ribas	<b>Região 113</b>	Dois Vizinhos	Guarapuava
Farol	Bom Sucesso	Marumbi	Arapoti	Itaipulândia	Honório Serpa
Formosa do Oeste	Borrazópolis	Mato Rico	Castro	Marmeleiro	Imbituva
Iporã	Cambará	Mauá da Serra	Jacarezinho	Realeza	Irati
Jesuítas	Cambira	Nova Cantu	Jaguariaíva	Santa Izabel do Oeste	Mangueirinha
Juranda	Candido de Abreu	Nova Santa Bárbara	Pirai do Sul		Pinhão
Mamborê	Carambei	Nova Tebas	Sertanópolis		Ponta Grossa
Marechal Cândido Rondon	Colorado	Ortigueira	Santana do Itararé		Rebouças
Araruna	Abatiá	Jussara	Wenceslau Braz		Turvo
Mercedes	Congonhinhas	Peabiru			
Moreira Sales	Cornélio Procópio	Pinhalão			
Nova Aurora	Corumbatai do Sul	Pitanga			
Nova Santa Rosa	Fênix	Quinta do Sol			
Ouro Verde do Oeste	Godoy Moreira	Ribeirão do Pinhal			
Pato Bragado	Ibaiti	Rio Bom			
Pérola	Iretama	Rolândia			
Quatro Pontes	Itambaracá	Roncador			
São Pedro do Iguaçu	Ivai	Sabáudia			
Tapejara	Ivaiporã	Santa Cecília do Pavão			
Toledo	Jaboti	Santa Mariana			
	Jandaia do Sul	Santo Antonio da Platina			
	Jardim Alegre	São João do Ivai			
		Sertaneja			

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA

Os dados de precipitação pluviométrica acumulada para os trimestres do ano, estão apresentados na Figura 3, para todas as safras estudadas. Observou-se que nas safras 2004/2005, 2005/2006 e 2011/2012 houve menor volume de chuva acumulada nos trimestres Novembro-Dezembro-Janeiro (NDJ) a Janeiro-Fevereiro-Março (JFM). Na safra 2005/2006 houve baixa precipitação pluviométrica inclusive no trimestre Outubro-Novembro-Dezembro (OND). As safras 2006/2007, 2007/2008, 2010/2011 e 2013/2014 apresentaram menor volume de chuva acumulada no início da safra, correspondente aos trimestres Julho-Agosto-Setembro (JAS) a Setembro-Outubro-Novembro (SON), voltando a aumentar o volume de precipitação pluviométrica após este período para as safras em questão. Pode se dizer que para a safra 2009/2010 a chuva acumulada foi bem distribuída para todos os trimestres.

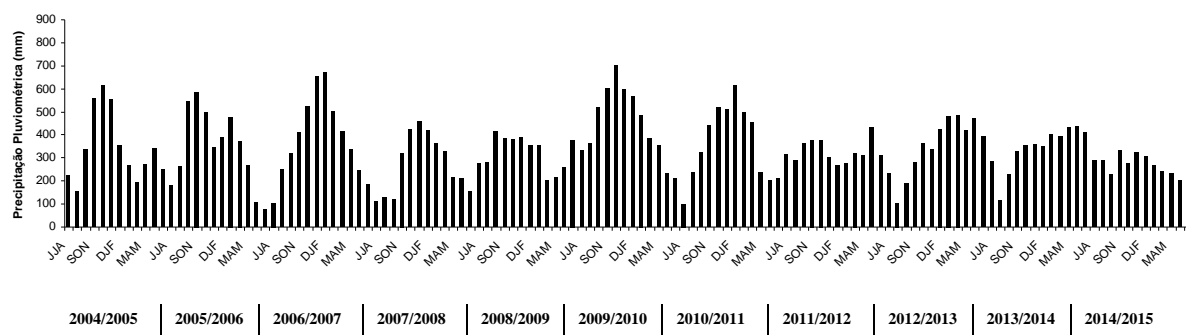




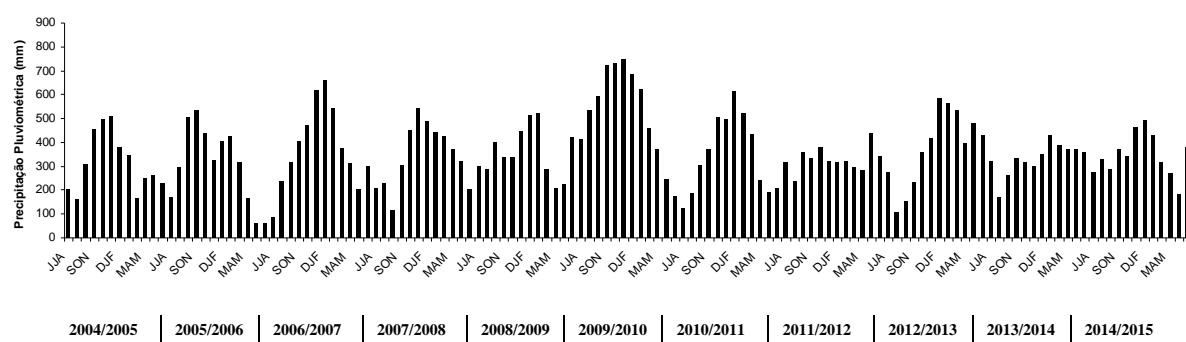
**Figura 3** Precipitação pluviométrica acumulada trimestral (mm) nas safras de 2004/2005 a 2014/2015, para o Estado do Paraná.

Analisando períodos de ocorrências dos fenômenos El Niño e La Niña, para as diferentes regiões definidas pelo INPE (Figura 4), as safras 2004/2005, 2006/2007 e 2009/2010 foram consideradas de ocorrência de El Niño de fraca intensidade, enquanto que na safra 2007/2008, de acordo com a mesma fonte, houve o evento La Niña de forte intensidade. Em anos de El Niño espera-se maior volume pluviométrico na região sul do Brasil e em anos de La Niña o oposto disto (KOUSKY et al., 1984). Porém devido ao Estado do Paraná estar em uma região de transição climática, os dados apresentados não seguiram fielmente esta descrição.

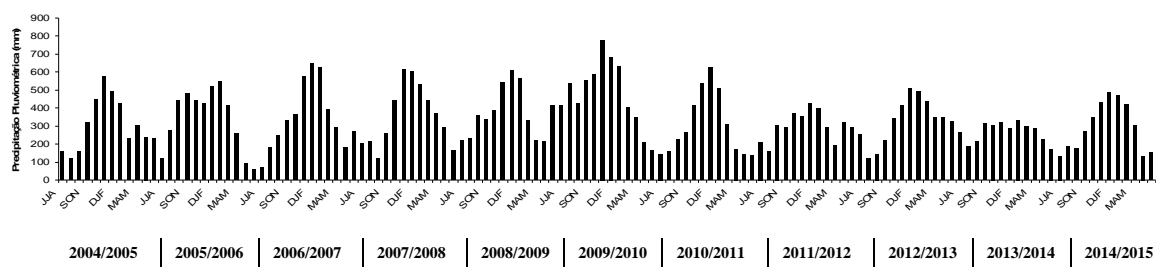
## REGIÃO 111



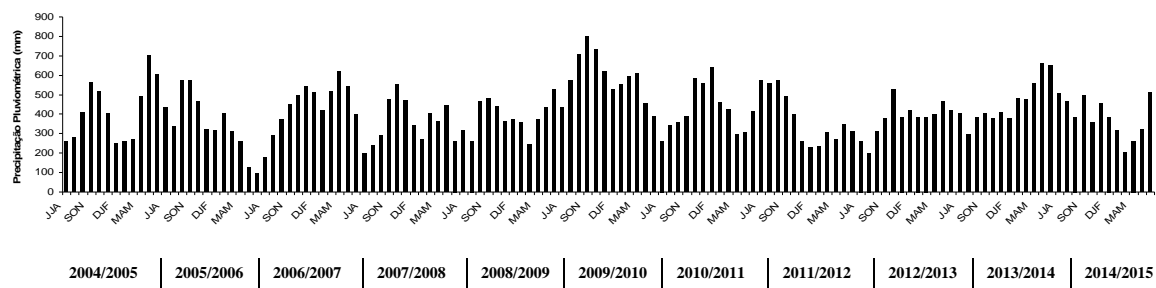
## REGIÃO 112



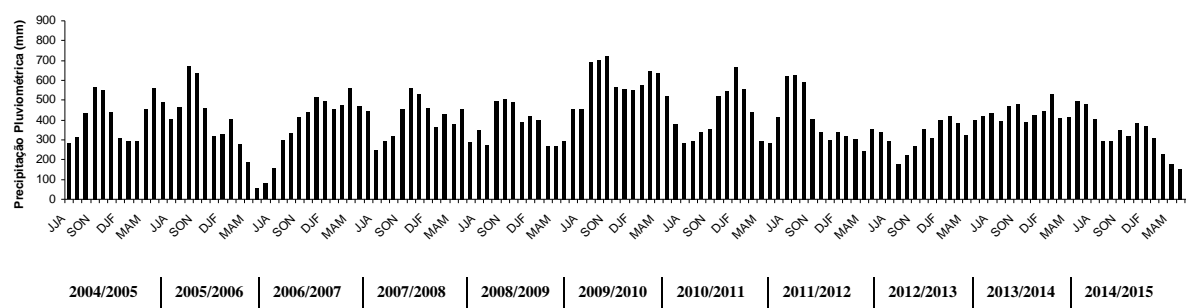
## REGIÃO 113

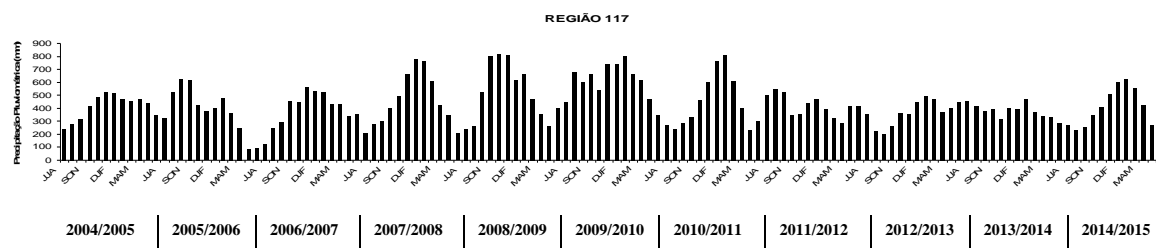


## REGIÃO 115



## REGIÃO 116





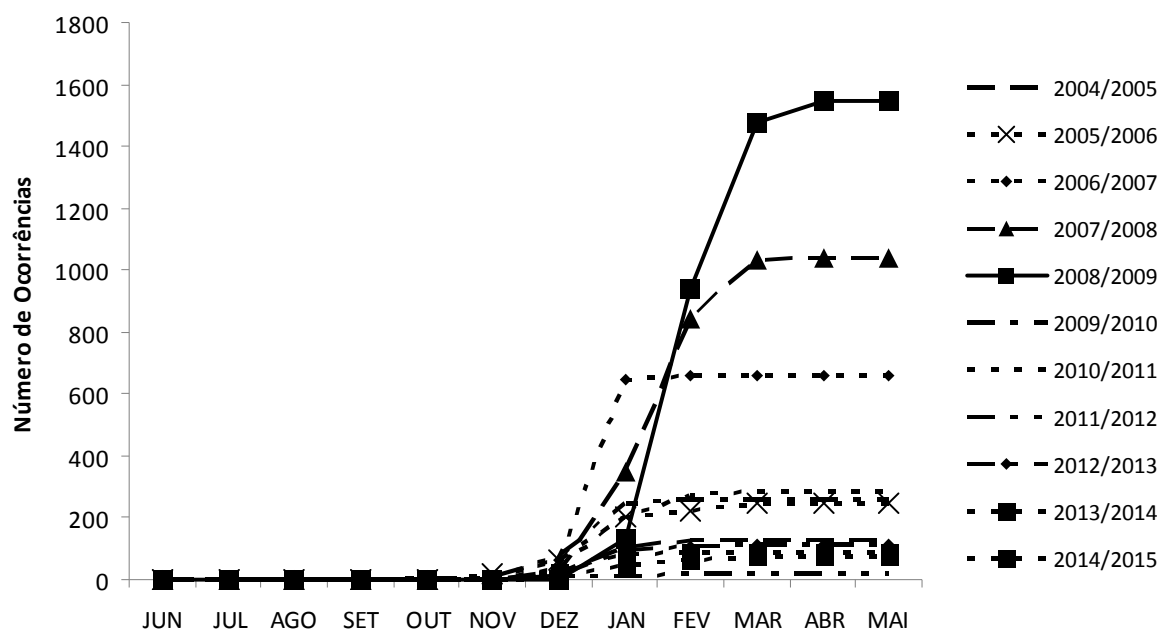
**Figura 4** Precipitação pluviométrica acumulada trimestral (mm) para as regiões 111, 112, 113, 115, 116 e 117, definidas pelo INPE nas safras 2004/2005 a 2014/2015 para o Estado do Paraná.

Os dados apresentados na Figura 4 demonstraram que para as regiões 111, 112 e 113 a precipitação pluviométrica acumulada tende a diminuir nos trimestres Maio-Junho-Julho (MJJ), Junho-Julho-Agosto (JJA), Julho-Agosto-Setembro (JAS) e Agosto-Setembro-Outubro (ASO). Com exceção da safra 2006/2007, a qual foi caracterizada como safra sob influência do fenômeno La Niña, as regiões 115, 116 e 117 apresentaram boa distribuição de chuva durante todos os trimestres do ano. Tal fato indica possibilidade de antecipação de semeadura de soja logo que as condições de temperatura sejam estabelecidas para o desenvolvimento desta cultura, o que ocorre logo no início de setembro. Com o término do período de vazio sanitário no Estado do Paraná, dia 15 de setembro, os agricultores nestas regiões já iniciam a execução das atividades de semeadura de cultivares de ciclo precoce, o que para as regiões 111, 112 e 113 não ocorre com frequência, devido à baixa precipitação verificada neste período.

A partir da safra 2011/2012 notou-se diminuição da precipitação pluviométrica acumulada para os períodos Setembro-Outubro-Novembro (SON) a Fevereiro-Março-Abril (FMA), correspondente aos períodos de maior demanda hídrica por parte da cultura e onde a severidade da doença tende a ser maior. Com a diminuição da precipitação verificada para estas safras nos períodos relatados, também houve tendência de redução da severidade da epidemia nestas condições.

A Figura 5 descreve as ocorrências acumuladas de ferrugem asiática relatadas no CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM para as safras 2004/2005 a 2014/2015, em todos os meses do ano. Pode-se observar que as safras 2008/2009, 2007/2008 e 2006/2007, apresentaram o maiores ocorrências, em ordem decrescente. Os primeiros relatos na safra 2009/2010 foram descritos no mês de Setembro enquanto para as demais safras, estes relatos iniciaram o seu início nos meses de Outubro-Novembro. A safra 2008/2009 apresentou relato de ocorrências

até o mês de Maio. Para a safra 2006/2007 o pico máximo de ocorrências ocorreu no mês de Janeiro, enquanto para as safras 2007/2008 e 2008/2009, o pico máximo de ocorrências ocorreu no mês de Fevereiro. Esperava-se que as safras 2006/2007 e 2009/2010 apresentassem maiores ocorrências por serem anos de El Niño, onde deveria chover mais na região.



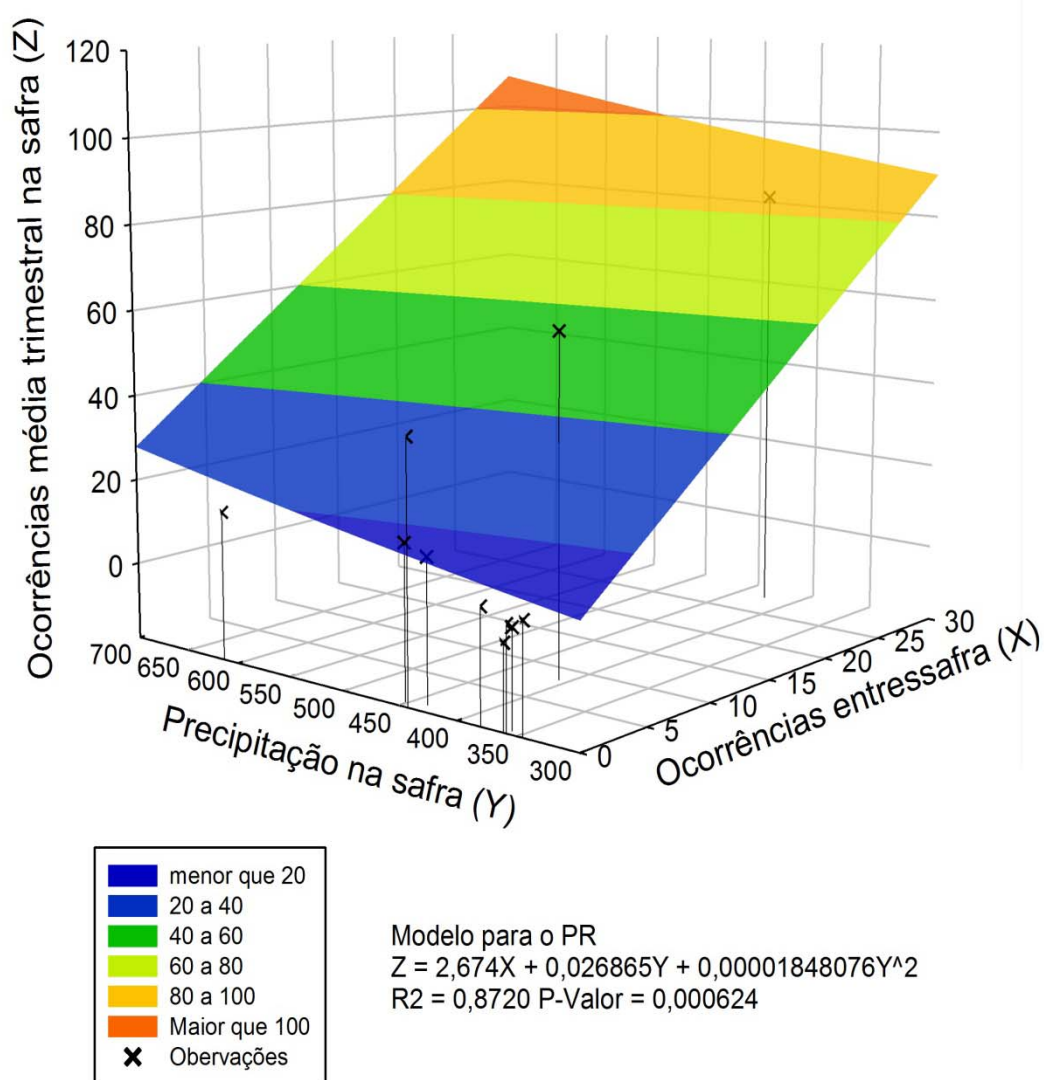
**Figura 5** Número de ocorrências acumuladas de ferrugem asiática da soja relatados nos diversos meses do ano nas safras 2004/2005 a 2014/2015, obtidos no banco de dados do CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM, para o Estado do Paraná (BRASIL/CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM (2015).

A Figura 6 descreve a relação existente entre as variáveis independentes “X”, representada pelo número médio trimestral de ocorrências de ferrugem asiática relatadas no período “Entressafra”, e “Y”, representada pelos valores médios trimestrais dos índices de variabilidade climática. A variável resposta “Z”, define o número médio trimestral de ocorrências, estimado para o período “Safras”.

Verificou-se que o número médio de ocorrências na “Safras” variou de aproximadamente 15 para cerca de 110, quando o número médio de ocorrências na “Entressafra” variou de 0 para 30, num intervalo de precipitação pluviométrica média de 300 até 700 mm.

Pelos dados, mesmo que ocorressem elevados volumes de precipitação na “Safr”, entre 600 a 700 mm, e a ocorrência média de ferrugem na “Entressafr” fosse entre 0 a 5, o número médio de ocorrências na “Safr” seria de 25 a 40. Por outro lado, se a ocorrência média de ferrugem na “Entressafr” for alta (entre 25 a 30), considerando o volume de precipitação médio próximo de 300 mm trimestrais, o número médio de relatos verificados apresentado foi em torno de 80 por trimestre. Quando se verificou o número médio máximo de ocorrências na “Entressafr” e se relacionou com a máxima precipitação média para o período “Safr”, o número médio máximo de ocorrências do período “Safr” foi em torno de 115.

A Figura 6 demonstrou que existe interação positiva entre as variáveis, cabendo à ocorrência de ferrugem no período “Entressafr” maior efeito sobre a variação na ocorrência no período “Safr” do que a ação da precipitação, que corroborou a importância do inóculo além da precipitação, apresentada nos trabalhos de CANTERI et al.(2007), DEL PONTE (2006b) e MINCHIO (2011).



**Figura 6** Superfície de resposta da ocorrência de ferrugem asiática da soja durante a “Safra” (Z), pela regressão com as variáveis ocorrência na “Entressafra”, (X) e a Precipitação no período “Safra” (Y), para o Estado do Paraná.

Os valores de p-valor detalhados na Tabela 2 indicaram que para os maiores valores de  $R^2$  estiveram associados os menores valores de p-valor. Os modelos que apresentaram os menores valores de p-valor são os mais recomendáveis, pela segurança no nível de probabilidade de acerto.

**Tabela 2** Coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e p-valor para as regressões polinomiais linear e quadrática encontradas no modelo tridimensional que relaciona a variável independente “X” ocorrência de ferrugem asiática no período “Entressafra” com a variável independente “Y”, como as variáveis climáticas do período “Safrá” e seus efeitos sobre a ocorrência de ferrugem asiática no período “Safrá”, para constante matemática diferente e igual a zero, para o Estado do Paraná.

Tipo de Regressão Polinomial	Variável "X"	Variável "Y"	constante $\neq$ 0		constante=0	
			$R^2$	p-valor	$R^2$	p-valor
Linear		Precipitação Safrá	0,77	0,00302056	0,87	0,000097141
		SPI-3 Safrá	0,78	0,00237319	0,72	0,003131957
		IOS-3 Safrá	0,74	0,00480458	0,73	0,002661657
		SST Niño 3.4 Safrá	0,74	0,00483705	0,72	0,003411212
Quadrática	Ocorrência Entressafra	Precipitação Safrá	0,84	0,00351424	0,87	0,000624326
		SPI-3 Safrá	0,85	0,0027248	0,75	0,008990247
		IOS-3 Safrá	0,74	0,01495752	0,79	0,004581541
		SST Niño 3.4 Safrá	0,79	0,00690684	0,87	0,000617752

Verificou-se que na Tabela 3, tanto para o modelo de regressão polinomial linear quanto para o polinomial quadrático, todas as variáveis climáticas tiveram bom desempenho, tanto na condição de constante matemática igual ou diferente de zero. Na condição de constante diferente de zero na regressão polinomial linear, a variável climática que se destacou foi o SPI-3, obtendo o maior coeficiente de determinação ( $R^2$ ), 0,78 e menor valor de p-valor, sendo o modelo mais recomendado nesta condição.

Os modelos obtidos na Tabela 3 evidenciaram que para a constante matemática igual a zero, a regressão polinomial linear que melhor representou a relação entre as variáveis independentes ocorrência na “Entressafra”, correspondente à variável “X” e a variável climática Precipitação na Safrá foi a que apresentou maior  $R^2$ , de 0,87 e nível de significância menor que 1%. As demais variáveis climáticas também obtiveram bom desempenho de  $R^2$ , variando de 0,72 a 0,73 e nível de significância também abaixo de 1%. Ao se optar por este modelo de regressão linear, preferiu-se optar por aquele que apresentasse  $R^2$  maior e um p-valor menor, o que neste caso, pela variável climática precipitação no período “Safrá”.

Quando se analisou o modelo gerado pela regressão polinomial quadrática, na situação em que a constante matemática foi diferente de zero, a variável climática SPI-3 também apresentou o melhor desempenho, com  $R^2$  igual a 0,85, apresentando o menor valor de p-valor. Porém, na situação de constante matemática igual a zero, destacaram-se a

precipitação e o SST Niño 3.4, ambos no período “Safr”, com valores de  $R^2$  de 0,87 e nível de significância abaixo de 1%.

**Tabela 3** Modelo matemático para determinação do número de ocorrências do período “Safr”, obtido a partir de Regressões polinomiais do tipo linear e quadrática, tendo como base a variável independente “X” ocorrência de ferrugem asiática no período “Entressafr” com a variável independente “Y”, como as variáveis climáticas do período “Safr” e “Z”, a variável dependente, ocorrência de ferrugem asiática no período “Safr, para constante matemática diferente e igual a zero, para o Estado do Paraná.

Tipo de Regressão Polinomial	Variável "X"	Variável "Y"	constante $\neq$ 0		constante=0	
			MODELO	$R^2$	MODELO	$R^2$
Linear		Precipitação Safr	$Z = -10,7956 + 2,6753X + 0,0602Y$	0,77	$Z = 2,6645X + 0,0351Y$	0,87
		SPI-3 Safr	$Z = 18,0349 + 2,6569X + 8,7869Y$	0,78	$Z = 3,2684X - 3,9385Y$	0,72
		IOS-3 Safr	$Z = 14,0370 + 2,6581X + 0,8003Y$	0,74	$Z = 3,0542X + 5,3643Y$	0,73
	Ocorrência "Entressafr"	SST Niño 3.4 Safr	$Z = 14,2225 + 2,6769X - 0,5162Y$	0,74	$Z = 3,2782X - 1,9067Y$	0,72
Quadrática		Precipitação Safr	$Z = -259,27 + 2,3372X + 1,1495Y - 0,0011Y^2$	0,84	$Z = 2,6740X + 0,0269Y + 0,00002Y^2$	0,87
		SPI-3 Safr	$Z = 27,5889 + 2,3132X + 7,9235Y - 16,3254Y^2$	0,85	$Z = 3,2791X + 0,1954Y + 8,8744Y^2$	0,75
		IOS-3 Safr	$Z = 12,6342 + 2,7313X - 2,8213Y + 2,9197Y^2$	0,74	$Z = 3,1693X - 8,5888Y + 9,9904Y^2$	0,79
		SST Niño 3.4 Safr	$Z = 7,1983 + 2,8194X + 3,3741Y + 14,0538Y^2$	0,79	$Z = 3,0398X + 5,1568Y + 21,6882Y^2$	0,87

Os resultados confirmaram a importante influência da chuva sobre a epidemia, porém, a quantidade de inóculo inicial referenciado neste trabalho como as ocorrências verificadas no período “Entressafr”, pode também ter explicado os efeitos positivos sobre as ocorrências do período “Safr” e “Ano Todo” (CANTERI et al.(2007b); DEL PONTE (2006b) e MINCHIO (2011).

Estas informações indicaram que dependendo do número de ocorrências relatado no site do CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM para o período “Entressafr”, este número poderá influenciar diretamente no número de ocorrências durante o período “Safr” vindoura, numa relação quadrática, ao nível de 1% de significância.

Evidenciou-se que o número de ocorrências deve ser melhor acompanhado durante o período “Entressafr”, pois este número associado com o acompanhamento dos índices precipitação, SST Niño 3.4 e SPI-3 possibilitarão prever com maior clareza o número de ocorrências provável para o período “Safr” no decorrer do ano agrícola, para o Estado do Paraná.

O modelo que melhor explicou a epidemia da doença no período “Safrá” foi o que relacionou as ocorrências da “Entressafrá” com a anomalia da SST Niño 3.4 para regressão quadrática com constante matemática igual a zero. Mesmo obtendo o valor de  $R^2$  semelhante ao da precipitação, o que fortaleceu a opção pela anomalia da SST Niño 3.4 foi o seu menor valor de p-valor.

## CONCLUSÃO

As ocorrências de ferrugem asiática do período “Safrá”, obtidas do site do CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM, têm relação com o índice temperatura na superfície do mar (SST Niño 3.4) do Oceano Pacífico tropical e a precipitação, com a ocorrência da doença no período da “Entressafra”, nas safras analisadas, possibilitando a construção de um modelo matemático tridimensional.

Verificou-se que as ocorrências relatadas no período “Entressafra” associadas às variáveis climáticas, SST Niño 3.4 e precipitação, influenciaram positivamente nas ocorrências de ferrugem asiática do período “Safrá”, com interação também positiva entre esta associação, para o Estado do Paraná.

O modelo que associa a anomalia da SST Niño 3.4 com a ocorrência na “Entressafra” foi o que melhor explicou o resultado obtido com as ocorrências na “Safrá”.

## REFERÊNCIAS

- BERGAMIN FILHO, A. Epidemiologia comparativa: ferrugem da soja e outras doenças. In: Zambolin, L. (Org.) **Ferrugem Asiática da Soja**, Visconde do Rio Branco: Suprema Gráfica e Editora. 2006. pp.15-35.
- BERLATO, M.A.; FARENZENA, H.; FONTANA, D.C. Associação entre El Niño Oscilação Sul e a produtividade do milho no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.5, p.423-432, 2005.
- BLAIN, G.C.; BRUNINI, O. Análise da escala temporal de monitoramento das secas agrícolas e meteorológicas no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.22, n.2, 255-261, 2007.
- BRASIL/CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Terceiro Levantamento. Brasília, v2, n.3, p.1-100, 2014.
- BRASIL/CONSORCIO ANTIFERRUGEM. **Consórcio antiferrugem**. Disponível em: <http://www.consorcioantiferrugem.net>, acessado em 10/08/2015.
- BRASIL/INPE Informações sobre produtos de monitoramento climático mensal e sazonal das chuvas no Brasil na página do CPTEC/INPE. CPTEC/INPE. Cachoeira Paulista. 2014. Disponível em: [http://clima1.cptec.inpe.br/~rclima1/pdf/Documento\\_produto\\_indice.pdf](http://clima1.cptec.inpe.br/~rclima1/pdf/Documento_produto_indice.pdf), acessado em 08/08/2015.
- BROMFIELD, K. **Soybean rust**. Monografia nº 11. The American Phytopathological Society. St. Paul, 65p., 1984.
- CANTERI, M.G.; CARAMORI, P.; TSUKAHARA, R.; SILVA, O.; FARIA, R.; GODOY, C.V. A system to map risk of infection by *Phakopsora pachyrhizi* for Paraná State, Brazil. **Phytopathology**, v.95, n.6, S16 (Suplemento), junho 2005.
- CANTERI, M.G.; TSUKAHARA, R.Y.; SILVA, O.C. Monitoramento das variáveis ambientais para controle da ferrugem asiática da soja. In: XL Congresso Brasileiro de Fitopatologia, 2007, Maringá. **Fitopatologia Brasileira**. Brasilia : SBF, 2007. v. 32. p. 65-66.
- CAVIGLIONE, J.H. Contribuição pessoal na elaboração de mapas, 2015
- DEL PONTE(a), E.M.; GODOY, C.V.; LI, X.; YANG, X.B. Predicting severity of asian soybean rust epidemics with empirical rainfall models. **Phytopathology**, v.96, n.7, p.797-803, 2006.
- DEL PONTE(b), E.M. Retrospectiva e tendências em modelagem matemática e previsão de ferrugem asiática. **Revista Plantio Direto**, p.21-30, nov/dez 2006

- DEL PONTE, E.M.; ESKER, P.D. Considerações epidemiológicas na avaliação de risco e manejo da ferrugem asiática da soja. In: XL Congresso Brasileiro de Fitopatologia, 2007, Maringá. **Fitopatologia Brasileira**, 2007. v. 32. p. S58-S60.
- DIAZ, A.F.; STUDZINSKI, C.D. MECHOSO, C.R. Relationships between precipitation anomalies in Uruguay and Southern. **Journal of Climate**, v.11, p.251-271, 1998.
- DUFAULT, N.S.; ISARD, S.A.; MAROIS, J.J.; WRIGHT, D.L. Removal of wet deposited *Phakopsora pachyrhizi* urediniospores from soybean leaves by subsequent rainfall. **Plant Disease**, St. Paul, v. 94, n. 11, p. 1336-1340, 2010.
- EUA/NOAA. National Oceanic Atmospheric Administration. Disponível em <<http://www.cpc.ncep.noaa.gov>>, acessado em 10/08/2015.
- FERREIRA, D.B. Relações entre a variabilidade da precipitação e a produtividade agrícola de soja e milho nas regiões sul e sudeste do Brasil. Dissertação. INPE. São José dos Campos, 2005.
- FONTANA, D.C.; BERLATO, M.A. Relação entre o El Niño Oscilação Sul (ENOS), precipitação e rendimento de milho no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v.2, n.1, p.39-45, 1996.
- HARTMAN, G.L.; MILES, M.R.; FREDERICK, R.D. Breeding for resistance to soybean rust. **Plant Disease**, v.89, n.6, p.664-666, 2005
- HENNEN, J.F. The taxonomy of the soybean rusts. P.29-32. In: SINCLAIR, J.B.; HARTMAN, G.L.(eds). **Proceedings of the rust workshop**, 9-10 August, 1995
- KOUSKY, V.E.; CAVALCANTI, I.F.A. Eventos Oscilação Sul/El Niño. Características, evolução e anomalias de precipitação. **Ciência e Cultura**, v.36, n.11, p.1888-1899, 1984.
- KOUSKY, V.E.; KAYANO, M.T.; CAVALCANTI, I. F. A. A review of the southern oscillation oceanic atmospheric circulation changes and related rainfall anomalies. **Tellus**, v.36, p.490-504, 1984.
- McKEE, T.B.; DOESKEN, N.; KLEIST, J. The relationship of drought frequency and duration to time scales. Eight Conference on Applied Climatology. Anaheim, California. Jan, 1993.
- MEGETO, G.A.S.; OLIVEIRA, S.R.M.; DEL PONTE, E.M.; MEIRA, C.A.A. Árvore de decisão par classificação de ocorrências de ferrugem asiática em lavouras comerciais com base em variáveis meteorológicas. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v.34, n.3, p.590-599, 2014.
- MINCHIO, C. A. Determinação da provável origem do inóculo de *Phakopsora pachyrhizi* e interação entre estágio fenológico, favorabilidade ambiental e presença do inóculo para

controle da doença. Dissertação de Mestrado em Agronomia. Universidade Estadual de Londrina, Londrina, ,2011, 116p.

PIVONIA, S. YANG, X.B. Assessment of the potential year-round establishment of soybean rust through the world. **Plant Disease**, v. 88, p. 523-529, mai 2004.

RAO, V.B.; HADA, K. Characteristics of rainfall over Brazil: annual variations and connections with the Southern Oscillation. **Theoretical Applied Climatology**, v.42, p.81-91, 1990.

REIS, E.M. **Previsão de doenças de plantas**. Passo Fundo: UPF, 2004. 316p

REIS, E.M. Critérios baseados em sistemas de aviso: modelo climático. In: Reis, E.M. (Org.) **Critérios indicadores do momento para aplicação de fungicidas visando ao controle de doenças em soja e trigo**. 1ª. Passo Fundo: Aldeia Norte, 2009, pp.103-109.

REIS, E.M.; CASA, R.T. Análise crítica dos critérios atuais. In: Reis, E.M. (Org.) **Critérios indicadores do momento para aplicação de fungicidas visando ao controle de doenças em soja e trigo**. 1ª. Passo Fundo: Aldeia Norte, 2009, pp.135-147.

ROPELEWSKI, C.F.; HALPERT, M.S. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño / Southern Oscillation. **Monthly Weather Review**, v.115, p. 1606-1626, 1987.

ROPELEWSKI, C.F.; HALPERT, M.S. Precipitation patterns associated with the high index phase of the southern oscillation. **Journal of Climate**, v. 4, p. 268-284, 1989.

SEAB. Secretaria de Estado da Agricultura e Abastecimento. **Produção Agropecuária, Paraná**. Disponível em: < <http://www.ipardes.gov.br/imp/index.php> > Acesso em 08 agosto 2015.

SEIXAS, C.D.S; GODOY C.V. Vazio sanitário: panorama nacional e medidas de monitoramento. In: Simpósio Brasileiro de Ferrugem Asiática da Soja, I, 2007, Londrina. **Anais**. Londrina. EMBRAPA-SOJA, 2007, p.23-32.

TEIXEIRA, C.F.A.; DAMÉ, R.C.F.; BACELAR, L.C.S.; SILVA, G.M.; COUTO, R.S. Intensidade da seca utilizando índices de precipitação. **Revista Ambiente & Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v.8, n.3, 2013.

TSCHANZ, A.T.; WANG, T.C.; TSAI, B.Y. Recent advances in soybean rust research. In: SHANMUGASUNDARAM, S.; SULZBERGER, E.W.; MCLEAN, B.I. **Soybean n tropical and subtropical cropping system**. Asian vegetable research and development center, p.237-245, 1984

TSCHANZ, A.T.; SHANMUGASUNDARAM, S. Soybean rust. In: World soybean research conference III; Proceedings./ ed. by Shibles, R.; Boulder, CO : Westview Press. p.562-567.

ref. (Text in En) (AVRDC/SP) (AVRDC Staff Publication) (SB205.S7W6 1985). Disponível em: <<http://203.64.245.61/pub-5.htm>>, acessado em 12/06/2011.

YORINORI, J.T.; PAIVA, W.M.; FREDERICK, R.D.; COSTAMILAN, L.M.; BERTAGNOLLI, P.F. Epidemics of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in Brazil and Paraguay from 2001 to 2003. **Plant Disease**, v.89, n.6, p. 675-677, junho 2005.

**ARTIGO E: MODELO MATEMÁTICO PARA PREVISÃO DE EPIDEMIAS DE FERRUGEM ASIÁTICA A PARTIR DO FENÔMENO ENOS, PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA E OCORRÊNCIA DE FERRUGEM ASIÁTICA NA ENTRESSAFRA PARA O ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL.**

*Mathematical model for prediction of Asian soybean rust from the ENSO phenomenon, rainfall and Asian rust occurrence in the off season for Rio Grande do Sul State..*

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi desenvolver modelos que pudessem ser utilizados em previsão de epidemias de ferrugem asiática da soja a partir dos índices de variabilidade climática e a ocorrência da doença no período da entressafra. Utilizou-se dados de 11 safras agrícolas, em 6 regiões do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), para o Estado do Rio Grande do Sul. Foram realizadas análises de regressão polinomial linear e quadrática, para desenvolver um modelo tridimensional. As variáveis climáticas foram consideradas como variáveis independentes (Y) utilizando-se a Precipitação Pluviométrica, Índice Padronizado de Precipitação (SPI), Índice de Oscilação Sul (IOS) e Temperatura na Superfície do Mar (SST Niño 3.4), no Oceano Pacífico Tropical, todos para espaço temporal trimestral. As ocorrências de sintomas de ferrugem no período de “Entressafra” foram consideradas a variável independente (X). O modelo estimou os efeitos sobre as ocorrências da safra (Z - variável dependente), relatados no *site* do Consórcio Antiferrugem. Os modelos que melhor explicaram a epidemia da doença no período “Safra” utilizaram as ocorrências da “Entressafra” com a precipitação pluviométrica e o SST Niño 3.4, para regressão quadrática, desenvolvido com constante matemática igual a zero, obtendo-  $R^2$  de 0,97 e 0,92, respectivamente. Os modelos foram  $Z=3,2020X+0,0038Y+0,00003Y^2$  e  $Z=4,1643X+1,5292Y+8,7374Y^2$ , para precipitação pluviométrica e SST Niño 3.4, respectivamente.

**Palavras-chave:** Clima, epidemiologia, modelagem, *Phakopsora pachyrhizi*, prevendo.

## ABSTRACT

The objective of this study was to develop models that can be used in prediction of Asian soybean rust epidemics from climate variability index and the occurrence of disease in the period between harvests. It used data from 11 agricultural crops, distributed in 6 regions of coverage of the National Institute for Space Research (INPE) for the State of Paraná. Linear and quadratic polynomial regression analyzes were performed to develop a three-dimensional model. Climate variables were considered as independent variables (Y) using the rainfall, standardized index of precipitation (SPI), Southern Oscillation Index (SOI) and Sea Surface Temperature (SST Niño 3.4), in the Tropical Pacific Ocean, all for quarterly timeline. The occurrences of rust symptoms in the “off-season” was considered the independent variable (X). The model estimated the effect of occurrences of “harvest” (dependent variable – Z), reported in the Anti-rust Consortium website. The models that best explained the epidemic of disease for “harvest” used the occurrences of the “off-season” (X) with rainfall precipitation (Y) and also with the the SST Niño 3.4 in quadratic regression, developed with mathematic constant igual to zero, yielding  $R^2$  of 0.97 and 0.92, respectively. The models were  $Z=3,2020X+0,0038Y+0,00003Y^2$  and  $Z= 4,1643X+1,5292Y+8,7374Y^2$  to rainfall and SST Niño 3.4, respectively.

**Key words:** Climate, epidemiology, modeling, *Phakopsora pachyrhizi*, predicting.

## INTRODUÇÃO

O Estado do Rio Grande do Sul se destaca como o terceiro maior produtor de soja do Brasil, com produção em torno de 15 milhões de toneladas do grão, previstos na safra 2014/2015 (BRASIL/CONAB, 2014).

Um dos entraves que dificultam a plena produtividade da cultura é o complexo de doenças e dentre elas, está a ferrugem asiática da soja, causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi* Syd. & P. Syd., que tem um grande potencial destrutivo da lavoura. Em condições favoráveis à doença, são relatadas perdas que variam de 10 a 90% da produção (YORINORI et al.; HARTMAN et al., 2005).

*Phakopsora pachyrhizi* é considerado parasita obrigatório, sobrevivendo em outras plantas hospedeiras, plantas voluntárias de soja e lavouras de soja cultivadas na entressafra. O patógeno pode vir de regiões onde se encontra o hospedeiro, multiplicando-se pelo caminho, até chegar nas demais regiões produtoras ainda não infectadas (HENNEN, 1995; PIVONIA & YANG, 2004).

Os hospedeiros alternativos, soja voluntária e plantios de safrinha, embora difícil de ser quantificado na prática, mantêm vivo o patógeno no período de entressafra servindo de fonte precoce de inóculo para a safra normal, todavia, somente o fato de sua presença não significa alto risco de infecções (DEL PONTE & ESKER, 2007).

Seixas & Godoy (2007), relataram que pesquisadores e técnicos chamavam a atenção para o risco de se cultivar soja durante o período de safrinha pelo fato de se estabelecer uma “ponte verde” que favorecesse a sobrevivência e multiplicação do fungo biotrófico. Além disso, plantas voluntárias oriundas de grãos caídos durante a colheita poderiam contribuir para a manutenção do fungo nas áreas de produção.

Diversos autores têm confirmado a existência de correlação entre a severidade da epidemia com a ocorrência das primeiras chuvas e o aumento de sua intensidade (BROMFIELD, 1984; TSCHANZ et al.1984; TSCHANZ & SHANMUGASUNDARAM, 1985; BERGAMIN FILHO, 2006; DEL PONTE et al., 2006a; MEGETO et al., 2014).

Evidências indicaram que a chuva exerce influência sobre a epidemia de *P. pachyrhizi*, porém não são apenas as condições do tempo ou o ambiente que regulam as epidemias, pois o progresso da doença é influenciado pela quantidade de inóculo inicial que também explica a variação da severidade da doença em sementeiras antecipadas ou tardias (CANTERI et al.,2007; DEL PONTE, 2006b; MINCHIO, 2011).

Por outro lado, uma precipitação pluviométrica de maior intensidade (entre 45 a 85 mm.h<sup>-1</sup>) influenciou positivamente na remoção de esporos de *Phakopsora pachyrhizi* depositados sobre as folhas, que indicariam um possível efeito negativo da chuva (DUFAULT et al, 2010).

A principal fonte conhecida da variabilidade climática interanual com atuação em todo o globo é o fenômeno chamado El Niño Oscilação Sul (ENOS), o qual provoca anomalias no escoamento atmosférico em escala global (KOUSKY et al.,1984; KOUSKY & CAVALCANTI, 1984).

As anomalias climáticas extremas estão relacionadas com as fases quente (El Niño) e fria (La Niña) do ENOS. Este fenômeno tem origem no Oceano Pacífico Tropical e é resultado de uma interação oceano-atmosfera, em que ocorre uma variação da temperatura da superfície do mar (em inglês SST – Surface Sea Temperature), na parte central e junto à costa oeste da América do Sul (Niño 3, Niño 3.4 e Niño 4), em associação com os campos de pressão (referentes ao IOS – Índice de Oscilação Sul) afetando conseqüentemente o clima em diversas partes do mundo (ROPELEWSKI & HALPERT, 1987, 1989).

Vários índices têm sido utilizados para medir a intensidade do ENOS, dentre eles o IOS, que reflete a diferença de pressão atmosférica entre Taiti (17,5 °S – 149,6 °W) e Darwin (12,4 °S – 130,9 °E), localizados na Austrália. O IOS mede a intensidade da Oscilação Sul (componente atmosférico), na região Niño 3 e a SST mede a intensidade do El Niño (componente oceânica).

Os efeitos do ENOS no Brasil podem ser vistos na parte Norte da Região Nordeste e a região Sul. No sul do Brasil, a fase quente (El Niño) em geral está associada com excesso de chuva durante a primavera do primeiro ano e posteriormente o fim do outono e início do inverno do segundo ano. Na fase fria (La Niña), a precipitação apresenta-se abaixo da normal na primavera e começo do verão (BERLATO et al., 2005).

Vários estudos relacionaram os impactos intra-regionais das fases ENOS sobre o regime de precipitação e seus efeitos sobre a variabilidade climática e a produtividade das culturas (FONTANA & BERLATO, 1996; RAO et al., 1990, 1997, DIAZ et al., 1998).

O índice padronizado de precipitação (em inglês Standarized Precipitation Index – SPI) desenvolvido por McKee et al. (1993) é um quantificador de seca meteorológica que vem sendo utilizado em diversas partes do mundo, sendo capaz de monitorar este fenômeno climático em diversas escalas de tempo, reconhecendo diferentes tipos de seca em sua análise, utilizando apenas dados de precipitação pluviométrica.

De acordo com Blain & Brunini (2007b) e Teixeira et al. (2013), do ponto de vista meteorológico, o índice padronizado de precipitação (SPI) é uma das ferramentas mais adequadas para a quantificação da seca, sendo utilizado em diversas partes do mundo em programas e ações governamentais que visam realizar a análise de riscos e adotar medidas que diminuam o impacto socioeconômico causado pela seca. O evento seca começa quando o SPI torna-se negativo e atinge o valor de -1 e termina quando este volta a apresentar valores positivos.

Um projeto que tornava disponíveis as informações sobre a ocorrência de ferrugem asiática da soja em todo o território brasileiro, através de uma plataforma de dados, visível em *website*, foi idealizado e colocado em prática pelo Laboratório de Epidemiologia de Plantas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e o Grupo de Pesquisa Mosaico da Universidade de Passo Fundo – RS, responsável pela construção e manutenção do sistema, que foi denominado CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM. A EMBRAPA-SOJA, ficou responsável pela coordenação e o gerenciamento do conteúdo do website. A alimentação do sistema é feita por laboratórios e pesquisadores devidamente credenciados pelo consórcio (BRASIL/CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM, 2015).

No Brasil as plataformas computacionais desenvolvidas com a finalidade de se mapear riscos de epidemias estão baseadas em elementos meteorológicos como umidade relativa acima de 90%, temperatura do ar, duração do período de molhamento (CANTERI et al., 2007; REIS, 2004), visando definição de mapas de riscos climáticos e alertar para a necessidade de aplicação de fungicidas na lavoura.

Em revisão sobre previsão de risco da ferrugem asiática da soja, constatou-se ser a chuva responsável pela dispersão da doença em macroescala, associada à prevalência e dispersão da doença na América do Sul. Analisando as detecções no Paraná e Rio Grande do Sul, verificou-se dispersão mais lenta da doença em anos mais secos do que em anos chuvosos, que resultaram em maior risco da doença (DEL PONTE, 2006b).

Del Ponte & Esker (2007) concluíram que embora se disponha de modelos de previsão, ainda não se pode dispensar as atividades de monitoramento da dispersão da doença e divulgação de focos, ou mesmo da presença do inóculo no local, para avaliação em tempo real da doença.

Os modelos atuais de previsão têm uma limitada capacidade de estimar corretamente a presença e a concentração do inóculo que irá iniciar as epidemias (DEL PONTE & ESKER, 2007).

Reis (2009) relatou que poucos modelos de previsão baseiam-se no monitoramento do

inóculo relacionando-o com o início do desenvolvimento da doença por serem muito laboriosos. A maioria dos sistemas disponíveis tem como base os requerimentos climáticos para a multiplicação do inóculo e para a infecção.

Diante disso os modelos de previsão assumem que o inóculo está presente no ambiente, podendo, devido a este fato, levar a falhas na emissão de aviso de risco da doença (REIS & CASA, 2009).

Canteri et al. (2005) avaliaram que o fungo pode ser eficientemente controlado por fungicidas desde que estes sejam aplicados no momento certo. Algumas áreas têm requerido duas ou mais aplicações, outras apenas uma. Um sistema de mapeamento de risco climático para doença de planta foi desenvolvido para indicar risco de infecção para diferentes regiões do Paraná, e indicou que as regiões oeste e noroeste têm os mais baixos riscos de desenvolvimento da doença, estando as regiões central e sul como as de maior risco.

Megeto et al. (2014) em estudo visando modelar a influência de elementos meteorológicos sobre o número de ocorrências de ferrugem asiática de soja, obtidos no site do CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM, utilizaram a técnica da indução de árvores de decisão, na qual verificaram que os valores encontrados indicaram que para menores quantidades de chuva, tanto em número de dias com precipitação acima de 1mm, quanto para maior volume de chuva em um único dia, houve maior ocorrência da doença.

Este trabalho teve por objetivo desenvolver modelos que possam ser utilizados em previsão de epidemias epidemias de ferrugem asiática da soja a partir da relação entre os índices de variabilidade interanual da precipitação pluviométrica, a partir de valores de precipitação pluviométrica acumulada, índice padronizado de precipitação (SPI), índice de oscilação sul (IOS) e índice de Temperatura na Superfície do Mar (SST), com o número de ocorrências da doença no período da entressafra, para o Estado do Rio Grande do Sul.

## MATERIAL E MÉTODOS

### DADOS METEOROLÓGICOS

Os dados utilizados de IOS, da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) encontram-se disponíveis na internet, <<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/>>. Os dados lá disponíveis estão na escala temporal mensal e trimestral e foram calculados utilizando anomalias normalizadas das pressões atmosféricas na superfície do mar em Darwin e Taiti.

Para o estudo da SST no número de ocorrências de ferrugem asiática, foi considerada uma região sobre o Oceano Pacífico Tropical, definida como Niño 3.4, compreendida entre as latitudes de 5° N a 5° S e longitudes de 170° W a 120° W para o acompanhamento das fases do ciclo ENOS, para a qual estão disponíveis os índices de anomalias trimestrais no site do NOAA.

As regiões Niño 3.4 e Niño 4 abrangem a área onde ligeiros aumentos ou diminuições em SST podem ter um grande impacto onde a convecção é encontrada, no Pacífico ocidental e central e são as áreas-chave para o monitoramento e previsão de eventos ENOS. Os dados de SST Niño 3.4 em escala temporal trimestral foram obtidos diretamente no site do NOAA (EUA/NOAA, 2015).

O cálculo do SPI envolve o ajuste da série histórica de precipitação a uma distribuição de probabilidade Gama, seguido de transformação (mapeamento) do percentil correspondente ao valor de precipitação acumulada observada em anomalia padronizada de uma distribuição normal (Gaussiana) com média igual a zero e desvio padrão igual a um.

O SPI é determinado a partir das funções de densidade de probabilidade que descrevem as séries históricas de precipitação nas diferentes escalas de tempo utilizadas (1 a 60 meses). Foram consideradas para fins de ajuste, as distribuições normal e gama2. Conhecida (ajustada) a função de distribuição de probabilidade acumulada, a chance de uma dada quantidade de precipitação observada é obtida e o SPI é computado usando a distribuição inversa (McKEE et al., 1995). No caso das precipitações acumuladas num dado intervalo de tempo (1, 3, 6, 9, 12, 48 e 60 meses) terem uma distribuição normal, o SPI é simplesmente a variável reduzida da distribuição normal  $z_i$ :

$$\text{SPI} = z_i = (P_i - \bar{A}_i) / \sigma_i$$

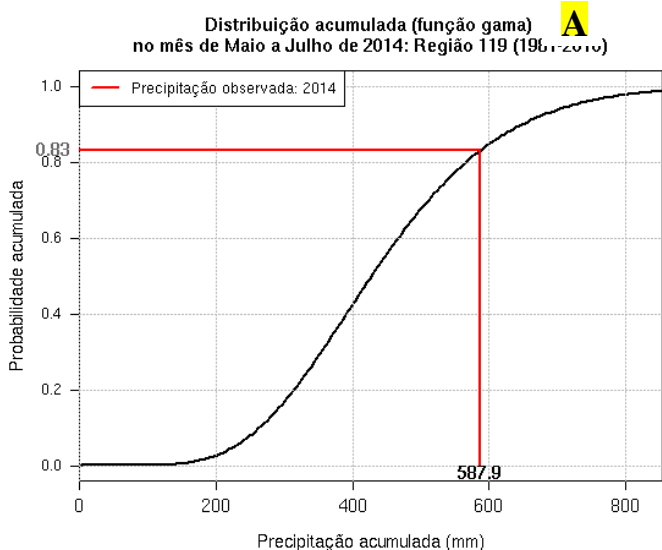
na qual  $P_i$  é a precipitação observada e  $\bar{A}_i$  e  $\sigma_i$  respectivamente, a média e o desvio padrão da série ajustada.

O produto disponibilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), mostra inicialmente a curva Gama da distribuição de probabilidade acumulada da precipitação ajustada utilizando os dados históricos de precipitação de 1981 a 2010, indicando o valor da chuva observada no período em questão (eixo X) e o valor de probabilidade de ocorrência deste ou inferior valor (eixo Y). O segundo gráfico expressa a curva de distribuição normal (Gaussiana) indicando o valor do índice SPI (eixo X) associado ao percentil correspondente ao valor de precipitação acumulada observado na data em questão (eixo Y) (Figura 1).

De acordo com os dados do INPE, o SPI está disponível nas escalas de tempo de 1, 3, 6, 12, 24 e 48 meses, significando o período durante o qual se acumula o valor de precipitação: o SPI-1 corresponde à precipitação mensal, o SPI-3 corresponde à precipitação acumulada em 3 meses, e assim por diante.

Para investigar as relações entre o tempo e o aparecimento de sintomas de ferrugem asiática da soja nas regiões do Estado do Rio Grande do Sul, foram utilizados os dados existentes no banco de dados do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos/ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE), Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e Centros Estaduais/Regionais de Meteorologia, disponibilizados no site do CPTEC/INPE ([www.cptec.inpe.br/clima](http://www.cptec.inpe.br/clima)), com período disponibilizado de dados da safra 2004/2005 até 2014/2015 (BRASIL/INPE, 2015).

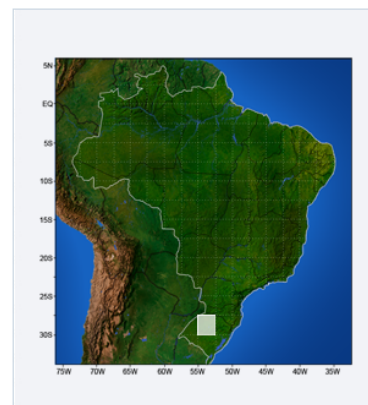
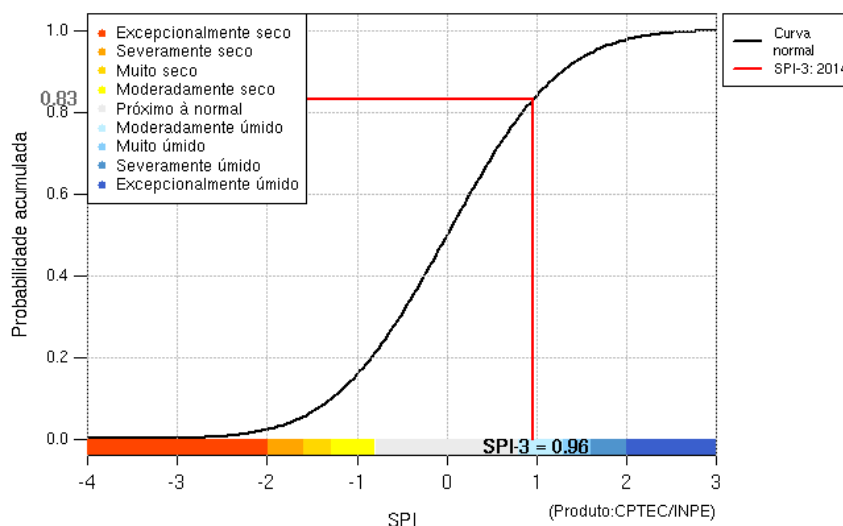
## ÍNDICE PADRONIZADO DE PRECIPITAÇÃO



## INFORMAÇÕES

-&gt; Motivação

## SELECIONE A ÁREA - REGIÃO 119

Índice Padronizado de Precipitação (SPI-3)  
no mês de Maio a Julho de 2014: Região 119

Fonte de dados: CPTEC/INPE, INMET e Centros Regionais de Meteorologia.

**Figura 1** – Exemplo de visualização no site CPTEC/INPE dos dados de SPI-3 (trimestral) referente aos trimestre MJJ (Maio-Junho-Julho) de 2014, para a região (caixa) 119, correspondente à região noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (BRASIL/INPE, 2015), onde **A** refere-se ao gráfico da precipitação acumulada no trimestre Maio-Junho-Julho de 2014 (mm) versus probabilidade de ocorrência (%), frente ao histórico de precipitação, normal climatológica (1981-2010); **B**, região 119 (2,5° x 2,5°), do INPE, sobre o Estado do Rio Grande do Sul, e **C**, gráfico de propabilidade de ocorrência da precipitação acumulada verificada e SPI-3 (Maio-Junho-Julho).

## ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

Os dados de precipitação acumulada trimestral foram obtidos a partir do site do CPTEC/INPE são referentes a 61 estações meteorológicas do INMET e Centros Estaduais/Regionais de Meteorologia distribuídas ao longo do Estado do Rio Grande do Sul, localizadas nos municípios de Alegrete, Antonio Prado, Bagé (2 estações), Bento Gonçalves, Bom Jesus, Caçapava do Sul, Cacequi, Cachoeira do Sul, Cambará do Sul, Campo Bom, Canela, Canoas, Caxias do Sul (2 estações), Chui, Cruz Alta, Dom Pedrito, Encruzilhada do Sul, Guaporé, Ibiruba, Irai, Itaquí, Jaguarão, Júlio de Castilho, Lagoa Vermelha, Lajeado, Marcelino Ramos, Mostardas, Novo Hamburgo, Panambi, Passo Fundo, Pelotas (2 estações) Piratini, Porto Alegre (2 estações), Rio Grande, São Francisco de Paula, Santa Maria (2 estações), Santa Rosa, Santa Vitória do Palmar, Santana do Livramento, Santiago, Santo Ângelo (2 estações), São Borja, São Gabriel, São Luiz Gonzaga, Soledade, Taquari, Tapes, Taquara, Teutônia, Torres, Triunfo, Uruguaiana (2 estações), Vacaria, Viamão.

Os dados de precipitação pluviométrica acumulada (mm) são produtos disponibilizados através de visualização gráfica, com o valor SPI-3 calculado para a escala temporal de 3 meses (Trimestre), a partir de janeiro de 1981 até os meses do ano corrente, abrangendo 124 regiões (caixas de 2,5° x 2,5° de latitude e longitude sobre o Brasil. As regiões 115, 118, 119, 120, 123 e 124, do INPE, cobrem o Estado do Rio Grande do Sul.



Os dados por cidade onde a ferrugem foi diagnosticada pelo Laboratório credenciado pelo CONSÓRCIO, foram agrupados em regiões definidas pela base de dados do INPE, sendo: 115, 118, 119, 120, 123 e 124, conforme demonstrado na Tabela 1 e Figura 2.

Foi utilizada regressão polinomial linear (FERREIRA, 2005) e polinomial quadrática, visando analisar a relação entre as ocorrências acumuladas nos trimestres, verificadas em diferentes períodos: “Ano Todo”, “Safrá” e “Entressafrá”, com os índices de variabilidade climática: precipitação pluviométrica acumulada trimestral, SPI-3, IOS-3 e SST Niño 3.4, nos períodos: “Ano Todo” (todos os trimestres do ano), “Safrá” [trimestres: Agosto-Setembro-Outubro (ASO), Setembro-Outubro-Novembro (SON), Outubro-Novembro-Dezembro (OND), Novembro-Dezembro-Janeiro (NDJ), Dezembro-Janeiro-Fevereiro (DJF), Janeiro-Fevereiro-Março (JFM) e Fevereiro-Março-Abril (FMA)] e “Entressafrá” [trimestres: Março-Abril-Maio (MAM), Abril-Maio-Junho (AMJ), Maio-Junho-Julho (MJJ), Junho-Julho-Agosto (JJA) e Julho-Agosto-Setembro (JAS)], para as regiões definidas pelo INPE. Os períodos “Safrá” e “Entressafrá” foram definidos de acordo com BRASIL/CONAB(2014).

Utilizou-se o programa computacional SIGMAPLOT para a elaboração do modelo que explicasse a relação entre as variáveis. Construiu-se um modelo tridimensional, onde a variável resposta foi definida como a estimativa do número médio de ocorrências no período “Safrá”, denominada Z; o número médio de ocorrências do período “Entressafrá” foi plotado no eixo X; os valores médios trimestrais dos índices de variabilidade climática foram plotados de forma separada, um por vez, no eixo Y. No modelo considerou-se também a hipótese de que o valor de “c” fosse igual a zero (a função do valor “c” é indicar quando a parábola corta o eixo Y, com coordenadas  $X_1, Y_1$ , sendo  $X_1$  igual a zero, o valor de “c” corresponderia ao valor de  $Y_1$ , no caso de “c” igual a zero,  $Y_1$  também assumiria o valor 0). Nesta condição pressupõe-se não existir doença sem inóculo inicial e sem que haja condições de favorabilidade ambiental para a ocorrência da infecção. Além dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ), também foi analisada a significância da regressão obtida para testar a validade do modelo.

Para as regressões polinomiais lineares que obtiveram um elevado coeficiente de determinação buscou-se uma melhor explicação do modelo, com a aplicação de regressão polinomial quadrática aos mesmos dados utilizados na regressão polinomial linear.

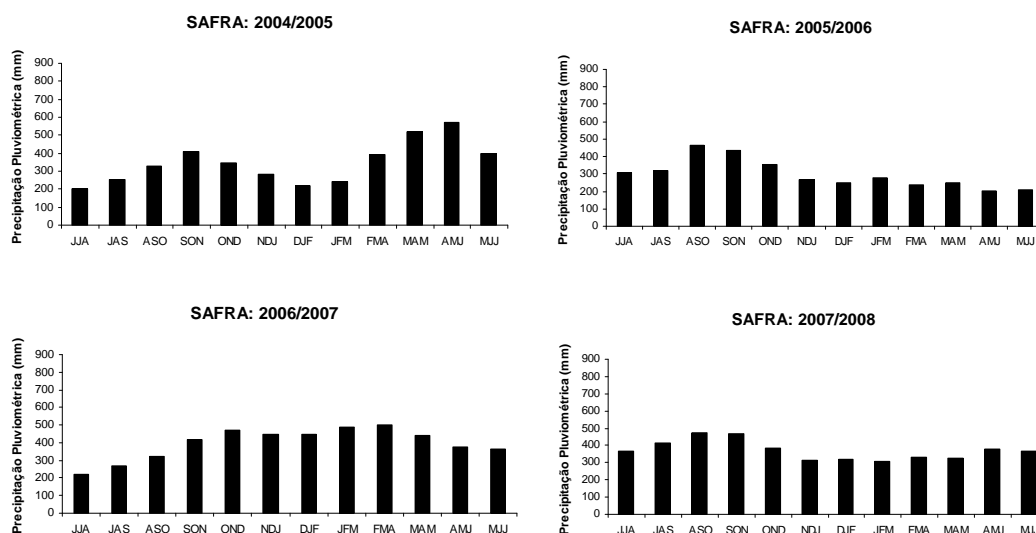
**Tabela 1** – Distribuição dos municípios com relato de ocorrência de ferrugem no CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM, nas safras 2004/2005 a 2014/2015, de acordo com sua macrorregião, para o Estado do Rio Grande do Sul, segundo BRASIL/INPE (2015).

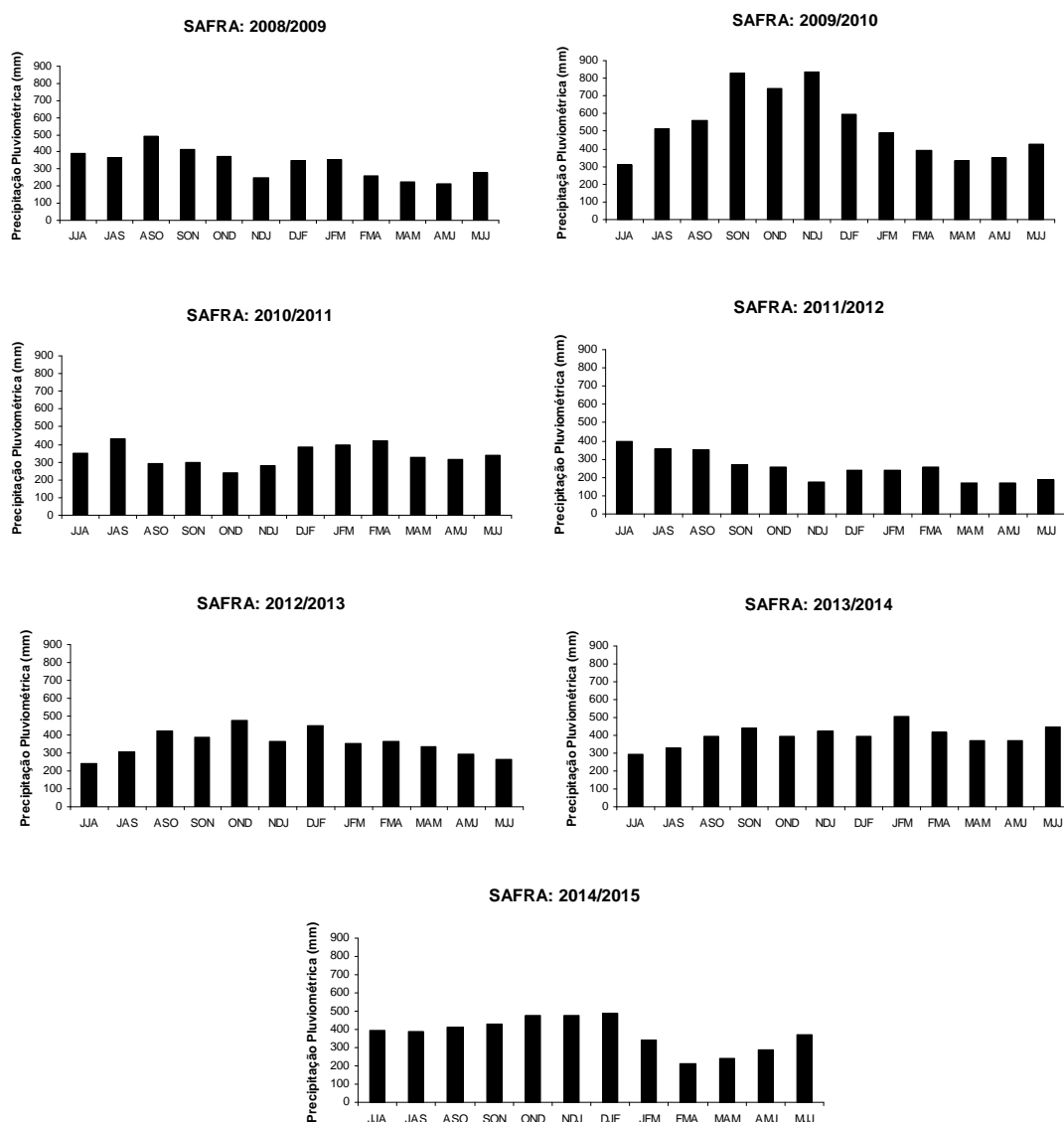
REGIÃO/ MUNICÍPIO	REGIÃO/ MUNICÍPIO	REGIÃO/ MUNICÍPIO	REGIÃO/ MUNICÍPIO	REGIÃO/ MUNICÍPIO	REGIÃO/ MUNICÍPIO	REGIÃO/ MUNICÍPIO	REGIÃO/MUNI CÍPIO	REGIÃO/ MUNICÍPIO
<b>Região 115</b>	<b>Região 118</b>	<b>Região 119</b>	<b>Região 119 (cont)</b>	<b>Região 119(cont)</b>	<b>Região 119(cont.)</b>	<b>Região 120</b>	Região 120 cont Lagoa Vermelha Lajeado Marau Mato Castelhano	<b>Região 123</b>
Barra do Guaritá	Alegrete	Ajuricaba	Dilermando de Aguiar	Liberato Salzano	Salto do Jacuí	Água Santa André da Rocha		<b>Arroio Grande</b>
Caçara	Dezesseis de Novembro	Almirante Tamandaré do Sul	Dois Irmãos das Missões	Mato Queimado	Santa Bárbara do Sul	Arroio do Meio	Mato Leitão	Caçapava do Sul
Derrubadas	Garruchos	Alto Alegre	Engenho Velho	Não-me-Toque	Santa Maria	Arvorezinha	Maximiliano de Almeida	Cachoeira do Sul
Doutor Mauricio Cardoso	Itaqui	Augusto Pestana	Entre Rios do Sul Entre-Ijuis	Nova Boa Vista Nova Esperança do Sul	Santa Rosa	Áurea Barão de Cotegipe	Montauri	Capão do Leão
Faxinalzinho	Maçambará	Boa Vista das Missões	Entre-Ijuis		Santiago	Barracão	Muitos Capões	Dom Pedrito
Frederico Westphalen	Manoel Viana	Boa Vista do Cadeado	Ernestina	Nova Palma	Santo Ângelo	Campestre da Serra	Nicolau Vergueiro	Encruzilhada do Sul
Gramado dos Loureiros	Pirapó	Boa Vista do Incra		Nova Ramada	Santo Antonio do Planalto	Capão Bonito do Sul	Nova Alvorada	Jaguarão
Irai	São Borja	Bossoroca	Espumoso	Novo Barreiro	Santo Augusto	Casca	Nova Prata	Morro Redondo
Nonoai	São Francisco de Assis	Bozano	Estrela Velha	Novo Cabrais	Santo Cristo	Caseiros	Passo Fundo	Pedro Osório
Pinheiro do Vale	São Nicolau	Braga	Eugênio de Castro	Palmeira das Missões	São José das Missões	Centenário	Pinhal da Serra	Piratini
Rio dos Índios	Unistalda	Campinas do Sul	Fortaleza dos Valos	Panambi	São Luiz Gonzaga	Charrua	Protásio Alves	Santa Vitória do Palmar
Taquaruçu do Sul	Uruguaiana	Campo Novo	Girúá	Paraíso do Sul	São Martinho da Serra	Ciriaco	Quatro Irmãos	Santana da Boa Vista
Tenente Portela		Campos Borges	Guarani das Missões	Passa Sete	São Miguel das Missões	Colinas	Roca Sales	São Gabriel
Vista Alegre		Candelária	Horizontalina	Pejuçara	São Paulo das Missões		Sananduva	
Vista Gaúcha		Capão do Cipó	Humaitá	Pinhal Grande	São Pedro das Missões	Coxilha Cruzeiro do Sul	Santa Cecília do Sul	Vila Nova do Sul
		Carazinho	Ibirama	Pontão	São Pedro do Sul	Erebango	Santo Antonio da Palma	
		Catuípe	Ibirubá	Ponte Preta	Sarandi	Erechim	Santo Expedito do Sul	
		Cerro Branco	Ijuí	Porto Lucena	Sede Nova	Esmeralda	São João da Urtiga	
		Cerro Largo	Independência	Porto Mauá	Segredo	Estação	São José do Couro	
		Chapada	Itaara	Quevedos	Selbach	Florian Peixoto	Serafina Correa	
		Chiapetta	Ivorá	Quinze de Novembro	Silveira Martins	Gaurama	Sertão	
		Colorado	Jaboticaba	Redentora	Soledade	Gentil	Tapejara	
		Condor	Jacutinga	Restinga Seca	Tapera	Getúlio Vargas	Teutônia	
		Constantina	Jaguari	Rolador	Três de Maio	Ibiaçá	Vacaria	
		Coqueiros do Sul	Jari	Ronda Alta	Três Palmeiras	Ibiraiaras	Vale Verde	
		Coronel Barros	Jóia	Rondinha	Trindade do Sul	Ibirapuitã	Veranópolis	
		Coronel Bicaço	Sagrada Família	Tupanciret		Igrejinha	Vespasiano Correa	
		Júlio de Castilhos	Lagoa Bonita do Sul	Saldanha Marinho	Tuparendi	Ipê	Viadutos	
		Cruz Alta			Victor Graeff	Ipiranga do Sul	Vila Lângaro	
					Vitória das Missões		Vila Maria	

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA

Os dados de precipitação pluviométrica acumulada para os trimestres do ano, estão relacionados na Figura 3, para todas as safras estudadas. Observa-se que nas safras 2004/2005, 2005/2006, 2007/2008, 2008/2009 e 2011/2012 houve menor volume de chuva acumulado nos trimestres Novembro-Dezembro-Janeiro (NDJ) a Janeiro-Fevereiro-Março (JFM). As safras 2004/2005 e 2006/2007, apresentaram menor volume chuva acumulado no início da safra, correspondente aos trimestres Julho-Agosto-Setembro (JAS) a Agosto-Setembro-Outubro (ASO), voltando a aumentar o volume de precipitação pluviométrica após este período para as safras em questão. As safras 2004/2005, 2010/2011 e 2011/2012 apresentaram sinais de veranico, por registrarem diminuição da precipitação pluviométrica para os trimestres Novembro-Dezembro-Janeiro (NDJ) e Dezembro-Janeiro-Fevereiro (DJF). Pode se dizer que para a safra 2009/2010 foi a mais chuvosa, apresentando precipitação pluviométrica trimestral superior a 800 mm no decorrer dos meses correspondentes ao período de safra.

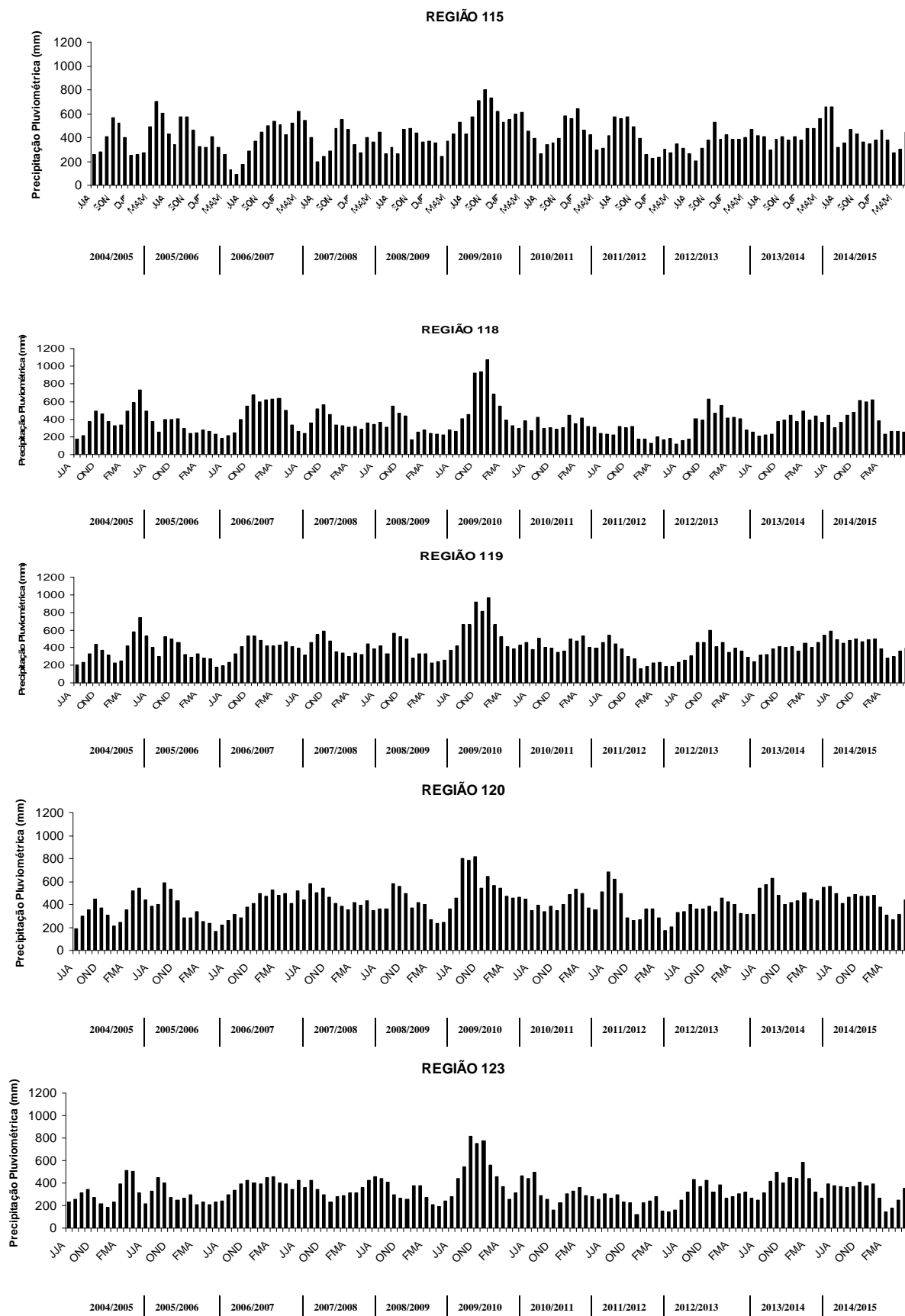


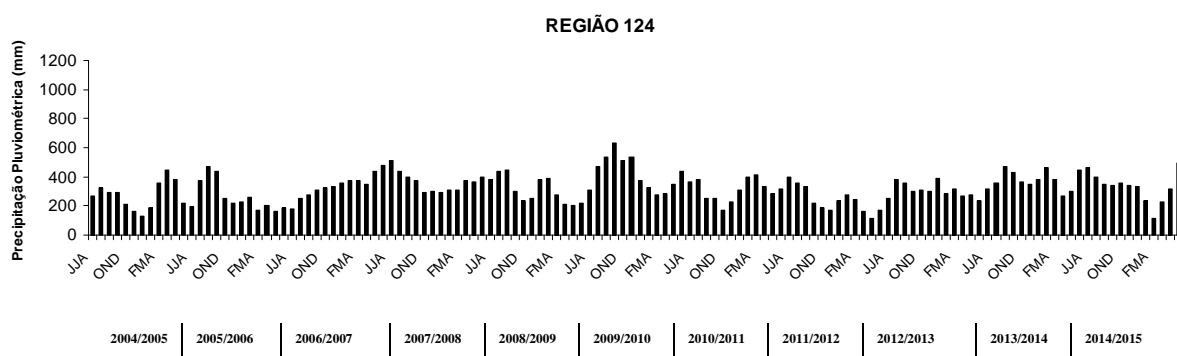


**Figura 3** Precipitação pluviométrica acumulada trimestral (mm) nas safras (2004/2005 a 2014/2015), para o Estado do Rio Grande do Sul.

Analisando períodos de ocorrências dos fenômenos El Niño e La Niña, para as diferentes regiões definidas pelo INPE (Figura 4), as safras 2004/2005, 2006/2007 e 2009/2010 foram consideradas de ocorrência de El Niño de fraca intensidade, enquanto que na safra 2007/2008, de acordo com a mesma fonte, houve o evento La Niña de forte intensidade. Em anos de El Niño espera-se maior volume pluviométrico na região sul do Brasil e em anos de La Niña o oposto disto (KOUSKY et al., 1984). Para o Estado do Rio Grande do Sul os efeitos do fenômeno El Niño foi evidenciada nas safras 2006/2007 e 2009/2010. Na safra 2007/2008, La Niña foi evidente no período após o trimestre Outubro-

Novembro-Dezembro (OND).



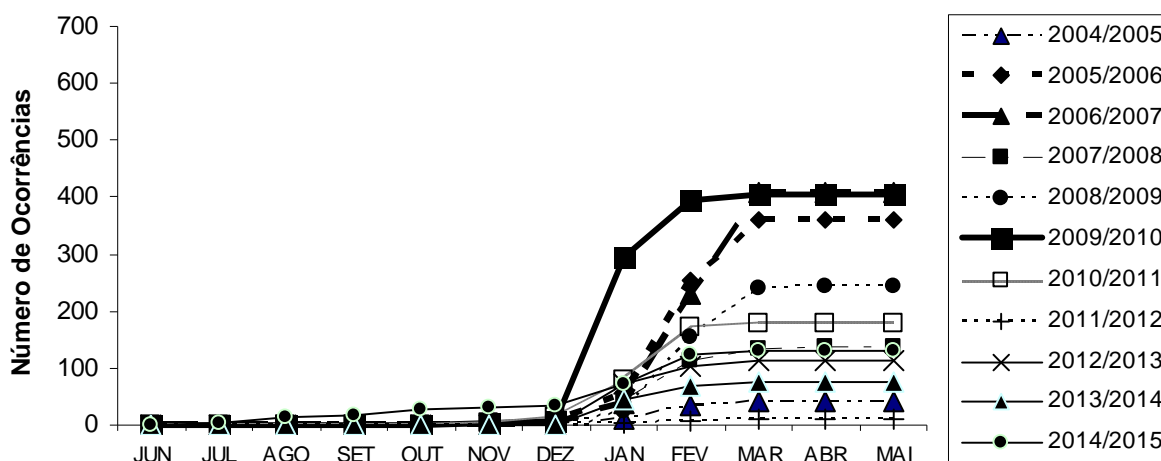


**Figura 4** Precipitação pluviométrica acumulada trimestral (mm) para as regiões 115, 118, 119, 120, 123 e 124, definidas pelo INPE nas safras 2004/2005 a 2014/2015 para o Estado do Rio Grande do Sul.

Os dados apresentados na Figura 4 demonstraram que para todas as diferentes regiões a precipitação pluviométrica acumulada tende a diminuir nos trimestres Maio-Junho-Julho (MJJ), Junho-Julho-Agosto (JJA), Julho-Agosto-Setembro (JAS) e Agosto-Setembro-Outubro (ASO), porém não alcançou níveis abaixo dos 200mm, com exceção da região 115, onde a precipitação pluviométrica no final da safra 2005/2006 e início da safra 2006/2007 ficou próximo dos 100mm. Todas as regiões apresentaram boa distribuição de chuva durante todos os trimestres do ano. A antecipação de semeadura teve como fator limitante a temperatura mais baixa para os períodos de Julho-Agosto-Setembro (JAS) e Agosto-Setembro-Outubro (ASO), o que dificultou a germinação das sementes ou sujeitas as plântulas a geadas tardias. O Estado do Rio Grande do Sul optou por não estabelecer o período de vazio sanitário, por considerar que as condições climáticas da entressafra não permitem o desenvolvimento da soja. Desta forma, os produtores iniciaram a semeadura da soja logo que as condições de temperatura e precipitação pluviométrica estivessem favoráveis à cultura.

A Figura 5 descreve as ocorrências acumuladas de ferrugem asiática relatadas no CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM para as safras 2004/2005 a 2014/2015, em todos os meses do ano. Pode-se observar que as safras 2009/2010, 2005/2006, 2006/2007 e 2008/2009, apresentaram o maiores ocorrências, em ordem decrescente. As primeiras ocorrências na safra 2009/2010 e 2010/2011 foram descritas no mês de Novembro enquanto para as demais safras, tiveram seu início nos meses de Dezembro-Janeiro. A safra 2008/2009 apresentou ocorrências até o mês de Maio. A safra 2014/2015, diferentemente das demais safras, não apresentou ocorrência apenas no trimestre Abril-Maio-Junho (AMJ), indicando maior possibilidade de sobrevivência do patógeno no campo, em plantas guaxas que sobreviveram no campo no

período de entressafra. Esperava-se que somente as safras 2006/2007 e 2009/2010 apresentassem maiores ocorrências por serem anos de El Niño, o que não ficou tão evidente devido ao fato que as safras 2005/2006 e 2006/2007 também apresentaram número semelhante de relatos às safras caracterizadas como de influência de El Niño.



**Figura 5** Número de ocorrências acumuladas de ferrugem asiática da soja relatados nos diversos meses do ano nas safras 2004/2005 a 2014/2015, obtidos no banco de dados do CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM, para o Estado do Rio Grande do Sul (BRASIL/CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM (2015).

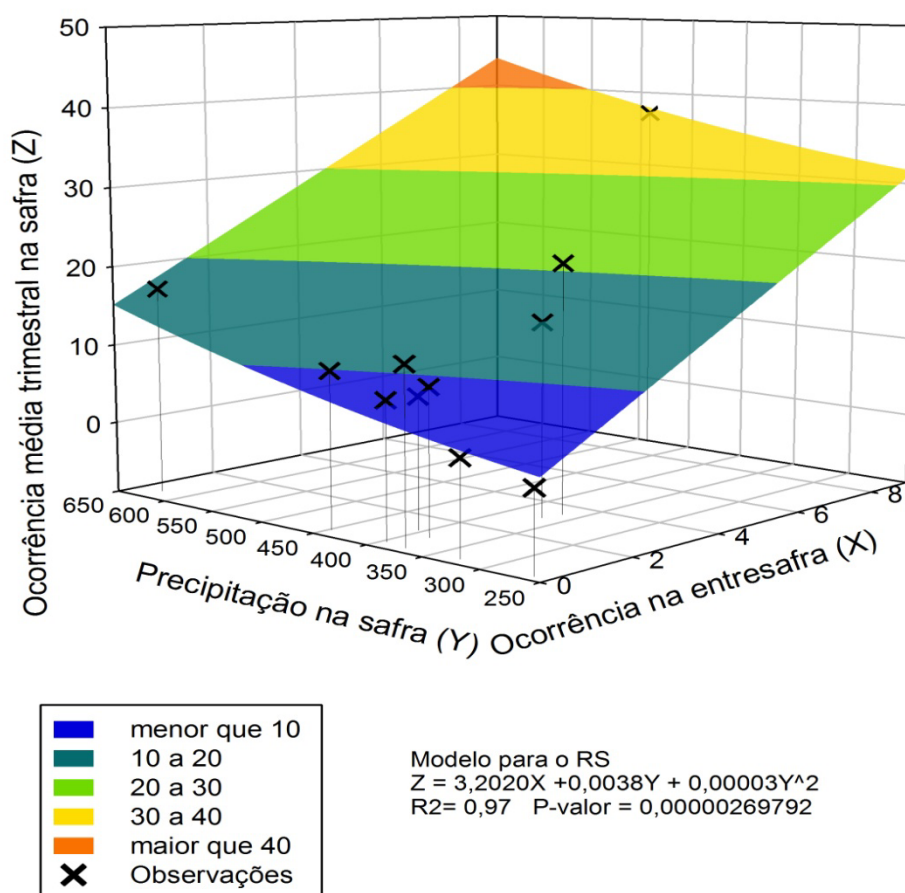
A Figura 6 descreve a relação existente entre as variáveis independentes “X”, representada pelo número médio trimestral de ocorrências de ferrugem asiática relatadas no período “Entressafra”, e “Y”, representada pelos valores médios trimestrais na safra dos índices de variabilidade climática, sendo a precipitação a que apresentou melhores valores de  $R^2$  e p-valor. A variável resposta “Z”, definiu o número médio trimestral de ocorrências estimado para o período “Safra”.

Verificou-se que o número médio de ocorrências na “Safra” variou de aproximadamente 15 para cerca de 45, quando o número médio de ocorrências na “Entressafra” variou de 0 para 8, num intervalo de precipitação pluviométrica média de 250 até 650 mm.

Pelos dados, mesmo que ocorram elevados volumes de precipitação na “Safra”, entre 550 a 650 mm, e a ocorrência média de ferrugem na “Entressafra” estiver entre 0 a 2, o número médio de ocorrências na “Safra” foi de 10 a 15. Por outro lado, se a ocorrência média de ferrugem na “Entressafra” estiver em torno de 6 a 8, considerando o volume de

precipitação médio próximo de 300 mm trimestrais, o número médio de ocorrências verificados ficou em torno de 30 por trimestre. Quando se verificou o número médio máximo de ocorrências na “Entressafra” e se relacionou com a máxima precipitação média para o período “Safr”, o número médio máximo de ocorrências do período “Safr” ficou em torno de 45.

A Figura 6 demonstrou que existiu interação positiva entre as variáveis, cabendo à ocorrência de ferrugem no período “Entressafra” maior variação na ocorrência no período “Safr” do que a ação da precipitação, que corroborou a importância do inóculo além da precipitação, apresentada nos trabalhos de CANTERI et al.(2007), DEL PONTE (2006b) e MINCHIO (2011).



**Figura 6** Superfície de resposta da ocorrência de ferrugem asiática da soja durante a “Safr” (Z), pela regressão com as variáveis ocorrência na “Entressafra”, (X) e a Precipitação no período “Safr” (Y), para o Estado do Rio Grande do Sul.

Os valores de p-valor detalhados na Tabela 2 indicaram que para os maiores valores de  $R^2$  estiveram associados os menores valores de p-valor. Os modelos que apresentaram os menores valores de p-valor são os mais recomendáveis, pela segurança no nível de probabilidade de acerto. O maior valor de p-valor foi verificado para a variável climática IOS-3, quando em regressão quadrática relacionou-se com o número de ocorrências no período “Entressafra”, com valor de 0,004, o que diante das demais variáveis, esta deveria ser utilizada em última instância ou mesmo descartada.

Os menores valores de p-valor foram verificados em condição de constante igual a zero, destacando-se em a precipitação e a anomalia do SST Niño 3.4, para regressão quadrática.

**Tabela 2** Coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e p-valor para as regressões polinomiais linear e quadrática encontradas no modelo tridimensional que relaciona a variável independente “X” ocorrência de ferrugem asiática no período “Entressafra” com a variável independente “Y”, como as variáveis climáticas do período “Safra” e seus efeitos sobre a ocorrência de ferrugem asiática no período “Safra”, para constante matemática diferente e igual a zero, para o Estado do Rio Grande do Sul.

Tipo de Regressão Polinomial	Variável "X"	Variável "Y"	constante $\neq$ 0		constante=0	
			$R^2$	p-valor	$R^2$	p-valor
Linear	Ocorrência "Entressafra"	Precipitação Safra	0,91	5,5449E-05	0,96	5,63136E-07
		SPI-3 Safra	0,91	7,9277E-05	0,81	0,000568659
		IOS-3 Safra	0,80	0,00155932	0,84	0,000277674
		SST Niño 3.4 Safra	0,80	0,00157754	0,81	0,000535281
Quadrática	Ocorrência "Entressafra"	Precipitação Safra	0,92	0,00039382	0,97	2,69792E-06
		SPI-3 Safra	0,93	0,00018951	0,90	0,000224852
		IOS-3 Safra	0,81	0,00470189	0,88	0,000533359
		SST Niño 3.4 Safra	0,84	0,00274451	0,92	0,000111918

Verificou-se que na Tabela 3, tanto para o modelo de regressão polinomial linear quanto para o polinomial quadrático, todas as variáveis climáticas tiveram bom desempenho, tanto na condição de constante igual ou diferente de zero. Na condição de constante diferente de zero na regressão polinomial linear, as variáveis climáticas que se destacaram foram a precipitação e o SPI-3, obtendo o maior coeficiente de determinação ( $R^2$ ), 0,91 e menor valor de p-valor, sendo os modelos mais recomendados nesta condição.

Os modelos obtidos na Tabela 3 evidenciaram que para a constante igual a zero, a

regressão polinomial linear que melhor representou a relação entre as variáveis independentes ocorrência na “Entressafra”, foi a variável climática Precipitação na Safra com  $R^2$ , de 0,96. As demais variáveis climáticas também obtiveram bom desempenho de  $R^2$ , variando de 0,81 a 0,84.

Quando se analisou o modelo gerado pela regressão polinomial quadrática, na situação em que a constante é diferente de zero, a variável climática SPI-3 apresentou o melhor desempenho, com  $R^2$  igual a 0,93, seguido da precipitação com  $R^2$  igual a 0,92. Na situação de constante matemática igual a zero, destacaram-se a precipitação e o SST Niño 3.4, ambos no período “Safra”, com valores de  $R^2$  de 0,97 e 0,92 respectivamente.

**Tabela 3** Modelo matemático para determinação do número de ocorrências do período “Safra”, obtido a partir de Regressões polinomiais do tipo linear e quadrática, tendo como base a variável independente “X” ocorrência de ferrugem asiática no período “Entressafra” com a variável independente “Y”, como as variáveis climáticas do período “Safra” e “Z”, a variável dependente, ocorrência de ferrugem asiática no período “Safra, para constante matemática diferente e igual a zero, para o Estado do Rio Grande do Sul.

Tipo de Regressão Polinomial	Variável "X"	Variável "Y"	constante $\neq$ 0		constante=0	
			MODELO	$R^2$	MODELO	$R^2$
Linear		Precipitação Safra	$Z=-7,5638+3,1421X+0,0372Y$	0,91	$Z=3,1842X+0,0192Y$	0,96
		SPI-3 Safra	$Z=8,2780+3,2721X+5,2526Y$	0,91	$Z=4,7644X+1,7386Y$	0,81
		IOS-3 Safra	$Z=,6946+3,4648X+0,4870Y$	0,80	$Z=4,6353X+3,1089Y$	0,84
	Ocorrência "Entressafra"	SST Niño 3.4 Safra	$Z=7,0740+3,3997X+0,4991Y$	0,80	$Z=4,7727X-1,9373Y$	0,81
Quadrática		Precipitação Safra	$Z=-14,9767+3,0810X+0,0720Y-0,00004Y^2$	0,92	$Z=3,2020X+0,0038Y+0,00003Y^2$	0,97
		SPI-3 Safra	$Z=11,9814+2,7482X+6,6151Y-4,6968Y^2$	0,93	$Z=4,5487X+2,0531Y+7,0460Y^2$	0,90
		IOS-3 Safra	$Z=5,9235+3,5150X-1,2884Y+1,5653Y^2$	0,81	$Z=4,4195X-2,1881Y+3,9915Y^2$	0,88
		SST Niño 3.4 Safra	$Z=4,6805+3,5515X+1,4568Y+4,4916Y^2$	0,84	$Z=4,1643X+1,5292Y+8,7374Y^2$	0,92

Os resultados confirmaram a importante influência da chuva sobre a epidemia, porém, a quantidade de inóculo inicial referenciado neste trabalho como as ocorrências verificadas no período “Entressafra”, pode também ter explicado os efeitos positivos sobre as ocorrências do período “Safra” e “Ano Todo” (CANTERI et al.(2007b); DEL PONTE (2006b) e MINCHIO (2011).

Estas informações indicaram que dependendo do número de ocorrências relatado no site do CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM para o período “Entressafra”, este número poderá

influenciar diretamente no número de ocorrências durante o período “Safrá” vindoura, numa relação quadrática, com nível de significância igual a 1%.

Evidenciou-se que o número de ocorrências deve ser melhor acompanhado durante o período “Entressafrá”, pois este número associado com o acompanhamento dos índices Precipitação, SPI-3 e SST Niño 3.4 possibilitarão prever com maior clareza o número de ocorrências provável para o período “Safrá” no decorrer do ano agrícola, no Estado do Rio Grande do Sul.

O modelo que melhor explicou a epidemia da doença no período “Safrá” foi o que relacionou o número de ocorrências da “Entressafrá” com a precipitação pluviométrica para regressão quadrática com constante matemática igual a zero.

## CONCLUSÃO

As ocorrências de ferrugem asiática do período “Safrá”, obtidas do site do CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM, tem relação com a precipitação, o índice de anomalia da temperatura na superfície do mar (SST Niño 3.4), do Oceano Pacífico tropical e o índice padronizado de precipitação (SPI-3) com a ocorrência da doença no período da “Entressafrá”, nas safras analisadas, possibilitando a construção de um modelo matemático tridimensional.

Verificou-se que as ocorrências relatadas no período “Entressafrá” associado com as variáveis climáticas precipitação, SST Niño 3.4 e SPI-3 influenciaram positivamente no número de relatos do período “Safrá”, com interação também positiva entre esta associação, para o Estado do Rio Grande do Sul.

O modelo que associa a precipitação pluviométrica com a ocorrência na “Entressafrá” foi o que melhor explicou o resultado obtido com as ocorrências na “Safrá”.

## REFERÊNCIAS

- BERGAMIN FILHO, A. Epidemiologia comparativa: ferrugem da soja e outras doenças. In: Zambolin, L. (Org.) **Ferrugem Asiática da Soja**, Visconde do Rio Branco: Suprema Gráfica e Editora. 2006. pp.15-35.
- BERLATO, M.A.; FARENZENA, H.; FONTANA, D.C. Associação entre El Niño Oscilação Sul e a produtividade do milho no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.5, p.423-432, 2005.
- BLAIN, G.C.; BRUNINI, O. Análise da escala temporal de monitoramento das secas agrícolas e meteorológicas no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.22, n.2, 255-261, 2007.
- BRASIL/CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Terceiro Levantamento. Brasília, v2, n.3, p.1-100, 2014.
- BRASIL/CONSORCIO ANTIFERRUGEM. **Consórcio antiferrugem**. Disponível em: <http://www.consorcioantiferrugem.net>, acessado em 10/08/2015.
- BRASIL/INPE Informações sobre produtos de monitoramento climático mensal e sazonal das chuvas no Brasil na página do CPTEC/INPE. CPTEC/INPE. Cachoeira Paulista. 2014. Disponível em: [http://clima1.cptec.inpe.br/~rclima1/pdf/Documento\\_produto\\_indice.pdf](http://clima1.cptec.inpe.br/~rclima1/pdf/Documento_produto_indice.pdf), acessado em 08/08/2015.
- BROMFIELD, K. **Soybean rust**. Monografia nº 11. The American Phytopathological Society. St. Paul, 65p., 1984.
- CANTERI, M.G.; CARAMORI, P.; TSUKAHARA, R.; SILVA, O.; FARIA, R.; GODOY, C.V. A system to map risk of infection by *Phakopsora pachyrhizi* for Paraná State, Brazil. **Phytopathology**, v.95, n.6, S16 (Suplemento), junho 2005.
- CANTERI, M.G.; TSUKAHARA, R.Y.; SILVA, O.C. Monitoramento das variáveis ambientais para controle da ferrugem asiática da soja. In: XL Congresso Brasileiro de Fitopatologia, 2007, Maringá. **Fitopatologia Brasileira**. Brasília : SBF, 2007. v. 32. p. 65-66.
- CAVIGLIONE, J.H. Contribuição pessoal na elaboração de mapas, 2015
- DEL PONTE(a), E.M.; GODOY, C.V.; LI, X.; YANG, X.B. Predicting severity of asian soybean rust epidemics with empirical rainfall models. **Phytopathology**, v.96, n.7, p.797-803, 2006.
- DEL PONTE(b), E.M. Retrospectiva e tendências em modelagem matemática e previsão de ferrugem asiática. **Revista Plantio Direto**, p.21-30, nov/dez 2006

- DEL PONTE, E.M.; ESKER, P.D. Considerações epidemiológicas na avaliação de risco e manejo da ferrugem asiática da soja. In: XL Congresso Brasileiro de Fitopatologia, 2007, Maringá. **Fitopatologia Brasileira**, 2007. v. 32. p. S58-S60.
- DIAZ, A.F.; STUDZINSKI, C.D. MECHOSO, C.R. Relationships between precipitation anomalies in Uruguay and Southern. **Journal of Climate**, v.11, p.251-271, 1998.
- DUFAULT, N.S.; ISARD, S.A.; MAROIS, J.J.; WRIGHT, D.L. Removal of wet deposited *Phakopsora pachyrhizi* urediniospores from soybean leaves by subsequent rainfall. **Plant Disease**, St. Paul, v. 94, n. 11, p. 1336-1340, 2010.
- EUA/NOAA. National Oceanic Atmospheric Administration. Disponível em <<http://www.cpc.ncep.noaa.gov>>, acessado em 10/08/2015.
- FERREIRA, D.B. Relações entre a variabilidade da precipitação e a produtividade agrícola de soja e milho nas regiões sul e sudeste do Brasil. Dissertação. INPE. São José dos Campos, 2005.
- FONTANA, D.C.; BERLATO, M.A. Relação entre o El Niño Oscilação Sul (ENOS), precipitação e rendimento de milho no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v.2, n.1, p.39-45, 1996.
- HARTMAN, G.L.; MILES, M.R.; FREDERICK, R.D. Breeding for resistance to soybean rust. **Plant Disease**, v.89, n.6, p.664-666, 2005
- HENNEN, J.F. The taxonomy of the soybean rusts. P.29-32. In: SINCLAIR, J.B.; HARTMAN, G.L.(eds). **Proceedings of the rust workshop**, 9-10 August, 1995
- KOUSKY, V.E.; CAVALCANTI, I.F.A. Eventos Oscilação Sul/El Niño. Características, evolução e anomalias de precipitação. **Ciência e Cultura**, v.36, n.11, p.1888-1899, 1984.
- KOUSKY, V.E.; KAYANO, M.T.; CAVALCANTI, I. F. A. A review of the southern oscillation oceanic atmospheric circulation changes and related rainfall anomalies. **Tellus**, v.36, p.490-504, 1984.
- McKEE, T.B.; DOESKEN, N.; KLEIST, J. The relationship of drought frequency and duration to time scales. Eight Conference on Applied Climatology. Anaheim, California. Jan, 1993.
- MEGETO, G.A.S.; OLIVEIRA, S.R.M.; DEL PONTE, E.M.; MEIRA, C.A.A. Árvore de decisão par classificação de ocorrências de ferrugem asiática em lavouras comerciais com base em variáveis meteorológicas. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v.34, n.3, p.590-599, 2014.
- MINCHIO, C. A. Determinação da provável origem do inóculo de *Phakopsora pachyrhizi* e interação entre estágio fenológico, favorabilidade ambiental e presença do inóculo para

controle da doença. Dissertação de Mestrado em Agronomia. Universidade Estadual de Londrina, Londrina, ,2011, 116p.

PIVONIA, S. YANG, X.B. Assessment of the potential year-round establishment of soybean rust through the world. **Plant Disease**, v. 88, p. 523-529, mai 2004.

RAO, V.B.; HADA, K. Characteristics of rainfall over Brazil: annual variations and connections with the Southern Oscillation. **Theoretical Applied Climatology**, v.42, p.81-91, 1990.

REIS, E.M. **Previsão de doenças de plantas**. Passo Fundo: UPF, 2004. 316p

REIS, E.M. Critérios baseados em sistemas de aviso: modelo climático. In: Reis, E.M. (Org.) **Critérios indicadores do momento para aplicação de fungicidas visando ao controle de doenças em soja e trigo**. 1ª. Passo Fundo: Aldeia Norte, 2009, pp.103-109.

REIS, E.M.; CASA, R.T. Análise crítica dos critérios atuais. In: Reis, E.M. (Org.) **Critérios indicadores do momento para aplicação de fungicidas visando ao controle de doenças em soja e trigo**. 1ª. Passo Fundo: Aldeia Norte, 2009, pp.135-147.

ROPELEWSKI, C.F.; HALPERT, M.S. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño / Southern Oscillation. **Monthly Weather Review**, v.115, p. 1606-1626, 1987.

ROPELEWSKI, C.F.; HALPERT, M.S. Precipitation patterns associated with the high index phase of the southern oscillation. **Journal of Climate**, v. 4, p. 268-284, 1989.

SEAB. Secretaria de Estado da Agricultura e Abastecimento. **Produção Agropecuária, Paraná**. Disponível em: < <http://www.ipardes.gov.br/imp/index.php> > Acesso em 08 agosto 2015.

SEIXAS, C.D.S; GODOY C.V. Vazio sanitário: panorama nacional e medidas de monitoramento. In: Simpósio Brasileiro de Ferrugem Asiática da Soja, I, 2007, Londrina. **Anais**. Londrina. EMBRAPA-SOJA, 2007, p.23-32.

TEIXEIRA, C.F.A.; DAMÉ, R.C.F.; BACELAR, L.C.S.; SILVA, G.M.; COUTO, R.S. Intensidade da seca utilizando índices de precipitação. **Revista Ambiente & Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v.8, n.3, 2013.

TSCHANZ, A.T.; WANG, T.C.; TSAI, B.Y. Recent advances in soybean rust research. In: SHANMUGASUNDARAM, S.; SULZBERGER, E.W.; MCLEAN, B.I. **Soybean in tropical and subtropical cropping system**. Asian vegetable research and development center, p.237-245, 1984

TSCHANZ, A.T.; SHANMUGASUNDARAM, S. Soybean rust. In: World soybean research conference III; Proceedings./ ed. by Shibles, R.; Boulder, CO : Westview Press. p.562-567.

ref. (Text in En) (AVRDC/SP) (AVRDC Staff Publication) (SB205.S7W6 1985). Disponível em: <<http://203.64.245.61/pub-5.htm>>, acessado em 12/06/2011.

YORINORI, J.T.; PAIVA, W.M.; FREDERICK, R.D.; COSTAMILAN, L.M.; BERTAGNOLLI, P.F. Epidemics of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in Brazil and Paraguay from 2001 to 2003. **Plant Disease**, v.89, n.6, p. 675-677, junho 2005.

**ARTIGO F: MODELO MATEMÁTICO PARA PREVISÃO DE EPIDEMIAS DE FERRUGEM ASIÁTICA A PARTIR DO FENÔMENO ENOS, PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA E OCORRÊNCIA DE FERRUGEM ASIÁTICA NA ENTRESSAFRA PARA O ESTADO DO MATO GROSSO.**

*Mathematical model for prediction of Asian soybean rust from the ENSO phenomenon, rainfall and Asian rust occurrence in the off season for Mato Grosso State..*

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi desenvolver modelos que pudessem ser utilizados em previsão de epidemias de ferrugem asiática da soja a partir dos índices de variabilidade climática e a ocorrência da doença no período da entressafra. Utilizou-se dados de 11 safras agrícolas, distribuídas em 12 regiões do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), para o Estado do Mato Grosso. Foram realizadas análises de regressão polinomial linear e quadrática, para desenvolver um modelo tridimensional. As variáveis climáticas foram consideradas como variáveis independentes (Y) utilizando-se a precipitação pluviométrica, índice padronizado de precipitação (SPI), índice de oscilação sul (IOS) e Temperatura na Superfície do Mar (SST Niño 3.4), no Oceano Pacífico Tropical, todos para espaço temporal trimestral. As ocorrências de sintomas de ferrugem no período de entressafra foram consideradas a variável independente (X). O modelo estimou os efeitos sobre as ocorrências da safra (Z - variável dependente), relatadas no *site* do Consórcio Antiferrugem. Os modelos que melhor explicaram a epidemia da doença no período “Safra” utilizaram as ocorrências na “Entressafra” com o IOS-3 e SST Niño 3.4, para regressão polinomial quadrática, desenvolvido com constante matemática igual a zero, com  $R^2$  de 0,96 para ambos, seguidas da precipitação com  $R^2$  de 0,95. Os modelos foram  $Z=9,9563X+0,1814Y+1,0024Y^2$  e  $Z=9,0706X-0,2036Y+2,5340Y^2$ , para IOS-3 e SST Niño 3.4, respectivamente e  $Z=8,6914X-0,0001Y+0,000007Y^2$ , para precipitação pluviométrica.

**Palavras-chave:** Clima, epidemiologia, modelagem, *Phakopsora pachyrhizi*, prevendo.

## ABSTRACT

The objective of this study was to develop models that can be used in prediction of Asian soybean rust epidemics from climate variability index and the occurrence of disease in the period between harvests. It used data from 11 agricultural crops, distributed in 12 regions of coverage of the National Institute for Space Research (INPE) for the State of Mato Grosso. Linear and quadratic polynomial regression analyzes were performed to develop a three-dimensional model. Climate variables were considered as independent variables (Y) using the rainfall, standardized index of precipitation (SPI), southern oscillation index (SOI) and Sea Surface Temperature (SST Niño 3.4), in the Tropical Pacific Ocean, all for quarterly timeline. The occurrences of rust symptoms in the “off-season” was considered the independent variable (X). The model estimated the effect of occurrences of “harvest” (dependent variable-Z), reported in the Anti-rust Consortium website. The models that best explained the epidemic of disease for “harvest” used the occurrences of the “off-season” (X) with SOI-3 (Y), and also with SST Niño 3.4 (Y) and rainfall precipitation (Y) in quadratic regression, developed with mathematic constant igual to zero, with  $R^2$  of 0.96 for both, followed by rainfall precipitation with  $R^2$  of 0.95. The models were  $Z=9,9563X+0,1814Y+1,0024Y^2$  and  $Z=9,0706X-0,2036Y+2,5340Y^2$ , to IOS-3 and SST Niño 3.4, respectively and  $Z=8,6914X-0,0001Y+0,000007Y^2$ , to rainfall precipitation.

**Key words:** Climate, epidemiology, modeling, *Phakopsora pachyrhizi*, predicting.

## INTRODUÇÃO

O Estado do Mato Grosso se destaca como o maior produtor de soja do Brasil, com produção em torno de 28 milhões de toneladas do grão, previstos na safra 2014/2015 (SEAB, 2015).

Um dos entraves que dificultam a plena produtividade da cultura é o complexo de doenças e dentre elas, está a ferrugem asiática da soja, causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi* Syd. & P. Syd., que tem um grande potencial destrutivo da lavoura. Em condições favoráveis à doença, são relatadas perdas que variam de 10 a 90% da produção (YORINORI et al.; HARTMAN et al., 2005).

*Phakopsora pachyrhizi* é considerado parasita obrigatório, sobrevivendo em outras plantas hospedeiras, plantas voluntárias de soja e lavouras de soja cultivadas na entressafra. O patógeno pode vir de regiões onde se encontra o hospedeiro, multiplicando-se pelo caminho, até chegar nas demais regiões produtoras ainda não infectadas (HENNEN, 1995; PIVONIA & YANG, 2004).

Os hospedeiros alternativos, soja voluntária e plantios de safrinha, embora difícil de ser quantificado na prática, mantêm vivo o patógeno no período de entressafra servindo de fonte precoce de inóculo para a safra normal, todavia, somente o fato de sua presença não significa alto risco de infecções (DEL PONTE & ESKER, 2007).

Seixas & Godoy (2007), relataram que pesquisadores e técnicos chamavam a atenção para o risco de se cultivar soja durante o período de safrinha pelo fato de se estabelecer uma “ponte verde” que favorecesse a sobrevivência e multiplicação do fungo biotrófico. Além disso, plantas voluntárias oriundas de grãos caídos durante a colheita podem contribuir para a manutenção do fungo nas áreas de produção.

Diversos autores têm confirmado a existência de alta correlação entre a severidade da epidemia com a ocorrência das primeiras chuvas e o aumento de sua intensidade (BROMFIELD, 1984; TSCHANZ et al.1984; TSCHANZ & SHANMUGASUNDARAM, 1985; BERGAMIN FILHO, 2006; DEL PONTE et al., 2006a; MEGETO et al., 2014).

Evidências indicaram que a chuva exerce influência sobre a epidemia de *P. pachyrhizi*, porém não são apenas as condições do tempo ou o ambiente que regulam as epidemias, pois o progresso da doença é influenciado pela quantidade de inóculo inicial que também explica a variação da severidade da doença em semeaduras antecipadas ou tardias (CANTERI et al.,2007; DEL PONTE, 2006b; MINCHIO, 2011).

Por outro lado, uma precipitação pluviométrica de maior intensidade (entre 45 a 85 mm.h<sup>-1</sup>) influenciou positivamente na remoção de esporos de *Phakopsora pachyrhizi* depositados sobre as folhas, que indicariam um possível efeito negativo da chuva (DUFAULT et al, 2010).

A principal fonte conhecida da variabilidade climática interanual com atuação em todo o globo é o fenômeno chamado El Niño Oscilação Sul (ENOS), o qual provoca anomalias no escoamento atmosférico em escala global (KOUSKY et al.,1984; KOUSKY & CAVALCANTI, 1984).

As anomalias climáticas extremas estão relacionadas com as fases quente (El Niño) e fria (La Niña) do ENOS. Este fenômeno tem origem no Oceano Pacífico Tropical e é resultado de uma interação oceano-atmosfera, em que ocorre uma variação da temperatura da superfície do mar (em inglês SST – Surface Sea Temperature), na parte central e junto à costa oeste da América do Sul (Niño 3, Niño 3.4 e Niño 4), em associação com os campos de pressão (referentes ao IOS – Índice de Oscilação Sul) afetando conseqüentemente o clima em diversas partes do mundo (ROPELEWSKI & HALPERT, 1987, 1989).

Vários índices têm sido utilizados para medir a intensidade do ENOS, dentre eles o IOS, que reflete a diferença de pressão atmosférica entre Taiti (17,5 °S – 149,6 °W) e Darwin (12,4 °S – 130,9 °E), localizados na Austrália. O IOS mede a intensidade da Oscilação Sul (componente atmosférico), na região Niño 3 e a SST mede a intensidade do El Niño (componente oceânica).

Os efeitos do ENOS no Brasil podem ser vistos na parte Norte da Região Nordeste e a região Sul. No sul do Brasil, a fase quente (El Niño) em geral está associada com excesso de chuva durante a primavera do primeiro ano e posteriormente o fim do outono e início do inverno do segundo ano. Na fase fria (La Niña), a precipitação apresenta-se abaixo da normal na primavera e começo do verão (BERLATO et al., 2005).

Vários estudos relacionaram os impactos intra-regionais das fases ENOS sobre o regime de precipitação e seus efeitos sobre a variabilidade climática e a produtividade das culturas (FONTANA & BERLATO, 1996; RAO et al., 1990, 1997, DIAZ et al., 1998).

O índice padronizado de precipitação (em inglês Standarized Precipitation Index – SPI) desenvolvido por McKee et al. (1993) é um quantificador de seca meteorológica que vem sendo utilizado em diversas partes do mundo, sendo capaz de monitorar este fenômeno climático em diversas escalas de tempo, reconhecendo diferentes tipos de seca em sua análise, utilizando apenas dados de precipitação pluviométrica.

De acordo com Blain & Brunini (2007b) e Teixeira et al. (2013), do ponto de vista meteorológico, o índice padronizado de precipitação (SPI) é uma das ferramentas mais adequadas para a quantificação da seca, sendo utilizado em diversas partes do mundo em programas e ações governamentais que visam realizar a análise de riscos e adotar medidas que diminuam o impacto socioeconômico causado pela seca. O evento seca começa quando o SPI torna-se negativo e atinge o valor de -1 e termina quando este volta a apresentar valores positivos.

Um projeto que tornava disponíveis as informações sobre a ocorrência de ferrugem asiática da soja em todo o território brasileiro, através de uma plataforma de dados, visível em *website*, foi idealizado e colocado em prática pelo Laboratório de Epidemiologia de Plantas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e o Grupo de Pesquisa Mosaico da Universidade de Passo Fundo – RS, responsável pela construção e manutenção do sistema, que foi denominado CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM. A EMBRAPA-SOJA, ficou responsável pela coordenação e o gerenciamento do conteúdo do website. A alimentação do sistema é feita por laboratórios e pesquisadores devidamente credenciados pelo consórcio (BRASIL/CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM, 2015).

No Brasil as plataformas computacionais desenvolvidas com a finalidade de se mapear riscos de epidemias estão baseadas em elementos meteorológicos como umidade relativa acima de 90%, temperatura do ar, duração do período de molhamento (CANTERI et al., 2007; REIS, 2004), visando definição de mapas de riscos climáticos e alertar para a necessidade de aplicação de fungicidas na lavoura.

Em revisão sobre previsão de risco da ferrugem asiática da soja, constatou-se ser a chuva responsável pela dispersão da doença em macroescala, associada à prevalência e dispersão da doença na América do Sul. Analisando as detecções no Paraná e Rio Grande do Sul, verificou-se dispersão mais lenta da doença em anos mais secos do que em anos chuvosos, que resultaram em maior risco da doença (DEL PONTE, 2006b).

Del Ponte & Esker (2007) concluíram que embora se disponha de modelos de previsão, ainda não se pode dispensar as atividades de monitoramento da dispersão da doença e divulgação de focos, ou mesmo da presença do inóculo no local, para avaliação em tempo real da doença.

Os modelos atuais de previsão têm uma limitada capacidade de estimar corretamente a presença e a concentração do inóculo que irá iniciar as epidemias (DEL PONTE & ESKER, 2007).

Reis (2009) relatou que poucos modelos de previsão baseiam-se no monitoramento do

inóculo relacionando-o com o início do desenvolvimento da doença por serem muito laboriosos. A maioria dos sistemas disponíveis tem como base os requerimentos climáticos para a multiplicação do inóculo e para a infecção.

Diante disso os modelos de previsão assumem que o inóculo está presente no ambiente, podendo, devido a este fato, levar a falhas na emissão de aviso de risco da doença (REIS & CASA, 2009).

Canteri et al. (2005) avaliaram que o fungo pode ser eficientemente controlado por fungicidas desde que estes sejam aplicados no momento certo. Algumas áreas têm requerido duas ou mais aplicações, outras apenas uma. Um sistema de mapeamento de risco climático para doença de planta foi desenvolvido para indicar risco de infecção para diferentes regiões do Paraná, e indicou que as regiões oeste e noroeste têm os mais baixos riscos de desenvolvimento da doença, estando as regiões central e sul como as de maior risco.

Megeto et al. (2014) em estudo visando modelar a influência de elementos meteorológicos sobre o número de ocorrências de ferrugem asiática de soja, obtidos no site do CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM, utilizaram a técnica da indução de árvores de decisão, na qual verificaram que os valores encontrados indicaram que para menores quantidades de chuva, tanto em número de dias com precipitação acima de 1mm, quanto para maior volume de chuva em um único dia, houve maior ocorrência da doença.

Este trabalho teve por objetivo desenvolver modelos que possam ser utilizados em previsão de epidemias epidemias de ferrugem asiática da soja a partir da relação entre os índices de variabilidade interanual da precipitação pluviométrica, a partir de valores de precipitação pluviométrica acumulada, índice padronizado de precipitação (SPI), índice de oscilação sul (IOS) e índice de Temperatura na Superfície do Mar (SST), com o número de ocorrências da doença no período da entressafra, para o Estado do Mato Grosso.

## MATERIAL E MÉTODOS

### DADOS METEOROLÓGICOS

Os dados utilizados de IOS, da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) encontram-se disponíveis na internet, <<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/>>. Os dados lá disponíveis estão na escala temporal mensal e trimestral e foram calculados utilizando anomalias normalizadas das pressões atmosféricas na superfície do mar em Darwin e Taiti.

Para o estudo da SST no número de ocorrências de ferrugem asiática, foi considerada uma região sobre o Oceano Pacífico Tropical, definida como Niño 3.4, compreendida entre as latitudes de 5° N a 5° S e longitudes de 170° W a 120° W para o acompanhamento das fases do ciclo ENOS, para a qual estão disponíveis os índices de anomalias trimestrais no site do NOAA.

As regiões Niño 3.4 e Niño 4 abrangem a área onde ligeiros aumentos ou diminuições em SST podem ter um grande impacto onde a convecção é encontrada, no Pacífico ocidental e central e são as áreas-chave para o monitoramento e previsão de eventos ENOS. Os dados de SST Niño 3.4 em escala temporal trimestral foram obtidos diretamente no site do NOAA (EUA/NOAA, 2015).

O cálculo do SPI envolve o ajuste da série histórica de precipitação a uma distribuição de probabilidade Gama, seguido de transformação (mapeamento) do percentil correspondente ao valor de precipitação acumulada observada em anomalia padronizada de uma distribuição normal (Gaussiana) com média igual a zero e desvio padrão igual a um.

O SPI é determinado a partir das funções de densidade de probabilidade que descrevem as séries históricas de precipitação nas diferentes escalas de tempo utilizadas (1 a 60 meses). Foram consideradas para fins de ajuste, as distribuições normal e gama2. Conhecida (ajustada) a função de distribuição de probabilidade acumulada, a chance de uma dada quantidade de precipitação observada é obtida e o SPI é computado usando a distribuição inversa (McKEE et al., 1995). No caso das precipitações acumuladas num dado intervalo de tempo (1, 3, 6, 9, 12, 48 e 60 meses) terem uma distribuição normal, o SPI é simplesmente a variável reduzida da distribuição normal  $z_i$ :

$$\text{SPI} = z_i = (P_i - \bar{A}_i) / \sigma_i$$

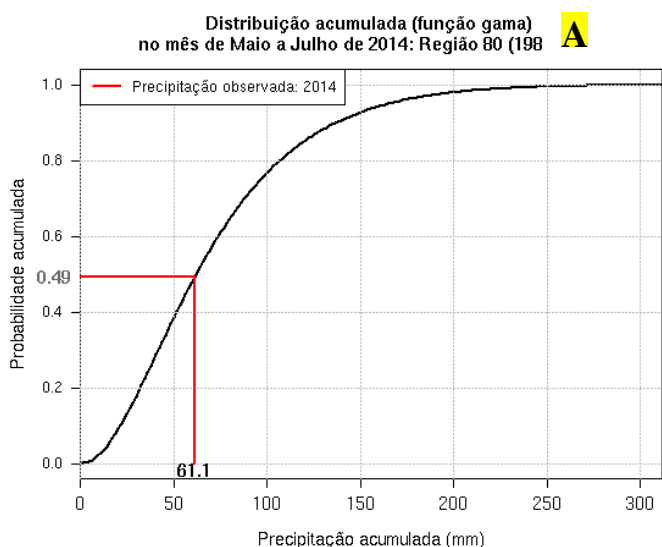
na qual  $P_i$  é a precipitação observada e  $\bar{A}_i$  e  $\sigma_i$  respectivamente, a média e o desvio padrão da série ajustada.

O produto disponibilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), mostra inicialmente a curva Gama da distribuição de probabilidade acumulada da precipitação ajustada utilizando os dados históricos de precipitação de 1981 a 2010, indicando o valor da chuva observada no período em questão (eixo X) e o valor de probabilidade de ocorrência deste ou inferior valor (eixo Y). O segundo gráfico expressa a curva de distribuição normal (Gaussiana) indicando o valor do índice SPI (eixo X) associado ao percentil correspondente ao valor de precipitação acumulada observado na data em questão (eixo Y) (Figura 1).

De acordo com os dados do INPE, o SPI está disponível nas escalas de tempo de 1, 3, 6, 12, 24 e 48 meses, significando o período durante o qual se acumula o valor de precipitação: o SPI-1 corresponde à precipitação mensal, o SPI-3 corresponde à precipitação acumulada em 3 meses, e assim por diante.

Para investigar as relações entre o tempo e o aparecimento de sintomas de ferrugem asiática da soja nas regiões do Estado do Mato Grosso, foram utilizados os dados existentes no banco de dados do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos/ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE), Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e Centros Estaduais/Regionais de Meteorologia, disponibilizados no site do CPTEC/INPE ([www.cptec.inpe.br/clima](http://www.cptec.inpe.br/clima)), com período disponibilizado de dados da safra 2004/2005 até 2014/2015 (BRASIL/INPE, 2015).

## ÍNDICE PADRONIZADO DE PRECIPITAÇÃO

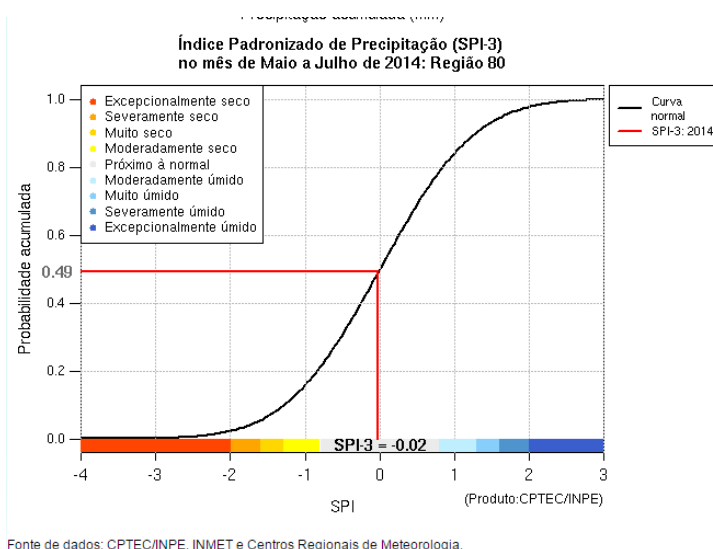
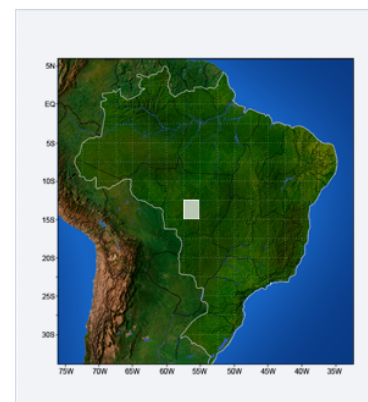


## INFORMAÇÕES

-&gt; Motivação

**B**

## SELECIONE A ÁREA - REGIÃO 80



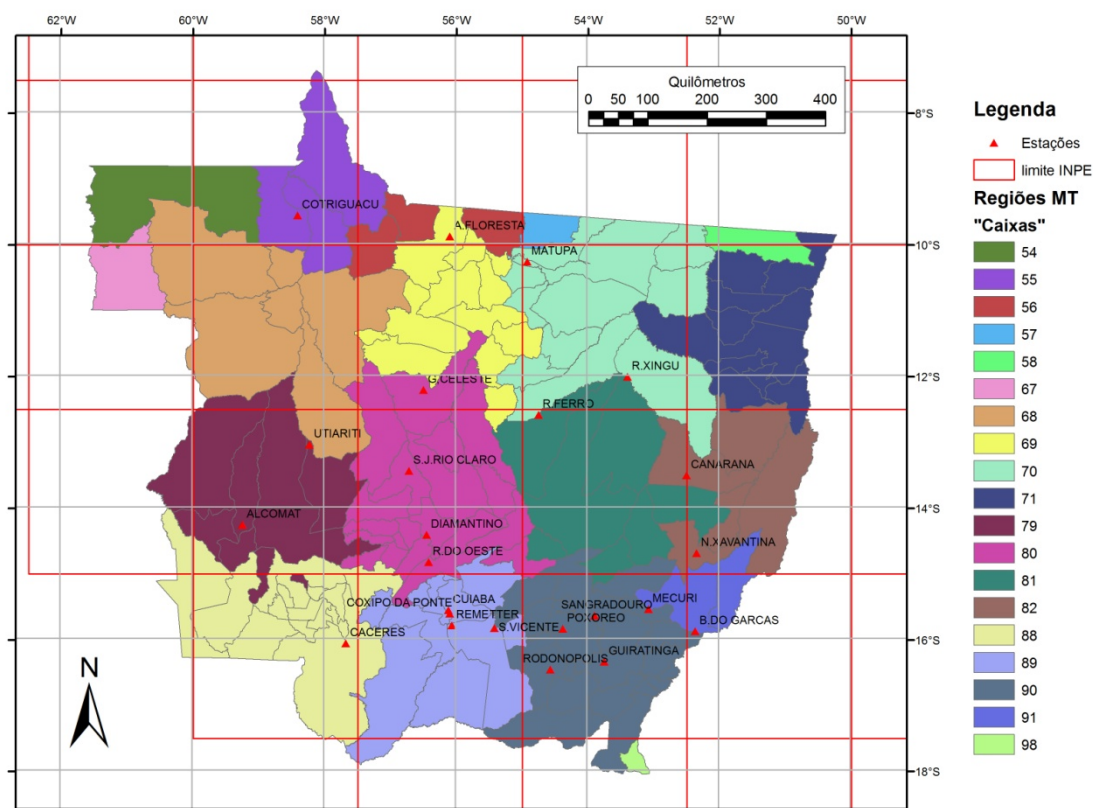
Fonte de dados: CPTEC/INPE, INMET e Centros Regionais de Meteorologia.

**Figura 1** – Exemplo de visualização no site CPTEC/INPE dos dados de SPI-3 (trimestral) referente aos trimestre MJJ (Maio-Junho-Julho) de 2014, para a região (caixa) 111, correspondente à região noroeste do Estado do Paraná (BRASIL/INPE, 2015), onde **A** refere-se ao gráfico da precipitação acumulada no trimestre Maio-Junho-Julho de 2014 (mm) versus probabilidade de ocorrência (%), frente ao histórico de precipitação, normal climatológica (1981-2010); **B**, região 80 (2,5° x 2,5°), do INPE, sobre o Estado do Paraná, e **C**, gráfico de propabilidade de ocorrência da precipitação acumulada verificada e SPI-3 (Maio-Junho-Julho).

## ESTADO DO MATO GROSSO

Os dados de precipitação acumulada trimestral foram obtidos a partir do site do CPTEC/INPE são referentes a 25 estações meteorológicas do INMET e Centros Estaduais/Regionais de Meteorologia distribuídas ao longo do Estado do Mato Grosso, localizadas nos municípios de Alcomat, Alta Floresta, Barra do Garças, Cáceres, Canarana, Cotriguaçu, Coxipó da Ponte, Cuiabá (2 estações), Diamantino, Gleba Celeste, Guiratinga, Matupá, Meuri, Nova Xavantina, Padre Ricardo Remetter, Poxoréo, Rio Ferro, Rio Xingu, Rondonópolis, Rosário do Oeste, Sangradouro, São José do Rio Claro, São Vicente e Utiariti..

Os dados de precipitação pluviométrica acumulada (mm) são produtos disponibilizados através de visualização gráfica, com o valor SPI calculado para a escala temporal de 3 meses (Trimestre), a partir de janeiro de 1981 até os meses do ano corrente, abrangendo 124 regiões (caixas de 2,5° x 2,5° de latitude e longitude sobre o Brasil. As regiões 68, 69, 70, 71, 80, 81, 82, 89, 90, 91 e 98, do INPE, cobrem o Estado do Mato Grosso.



**Figura 2** Mapa do Estado do Mato Grosso, com a localização das regiões estabelecidas pelo INPE e as estações meteorológicas que coletam dados para a base do INPE (Fonte: BRASIL/INPE(2015), adaptado por Caviglione (2015).

## OCORRÊNCIA DE SINTOMAS: CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM

As informações relacionadas à ocorrência de sintomas de ferrugem asiática da soja nas diferentes regiões do Estado do Mato Grosso, foram obtidas a partir de um extenso banco de dados de ferrugem asiática, existente no Brasil, visualizado gratuitamente no site do CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM (<<http://www.consorcioantiferrugem.net>>), para o período total de dados existentes no site, iniciando pela safra 2004/2005 até 2014/2015.

Os eventos foram agrupados por mês de ocorrência e posteriormente, somados para um espaço temporal de 3 meses. Os agrupamentos trimestrais de eventos ocorridos, de forma sazonal, foram: NDJ (Novembro-Dezembro-Janeiro), DJF (Dezembro-Janeiro-Fevereiro), JFM (Janeiro-Fevereiro-Março), FMA (Fevereiro-Março-Abril), MAM (Março-Abril-Maio), AMJ (Abril-Maio-Junho), MJJ (Maio-Junho-Julho), JJA (Junho-Julho-Agosto), JAS (Julho-Agosto-Setembro), ASO (Agosto-Setembro-Outubro), SON (Setembro-Outubro-Novembro), OND (Outubro-Novembro-Dezembro).

Os dados por cidade onde a ferrugem foi diagnosticada pelo Laboratório credenciado pelo CONSÓRCIO, foram agrupados em regiões definidas pela base de dados do INPE, sendo: 68, 69, 70, 71, 80, 81, 82, 89, 90, 91 e 98, conforme demonstrado na Tabela 1 e Figura 2.

Foi utilizada regressão polinomial linear (FERREIRA, 2005) e polinomial quadrática, visando analisar a relação entre as ocorrências acumuladas nos trimestres, verificadas em diferentes períodos: “Ano todo”, “Safra” e “Entressafra”, com os índices de variabilidade climática: precipitação pluviométrica acumulada, SPI-3, IOS-3 e SST Niño 3.4, nos períodos: “Ano Todo” (todos os trimestres do ano), “Safra” [trimestres Julho-Agosto-Setembro (JAS), Agosto-Setembro-Outubro (ASO), Setembro-Outubro-Novembro (SON), Outubro-Novembro-Dezembro (OND), Novembro-Dezembro-Janeiro (NDJ), Dezembro-Janeiro-Fevereiro (DJF), Janeiro-Fevereiro-Março (JFM) e Fevereiro-Março-Abril (FMA)] e “Entressafra” [trimestres: Março-Abril-Maio (MAM), Abril-Maio-Junho (AMJ), Maio-Junho-Julho (MJJ) e Junho-Julho-Agosto (JJA)], para as regiões definidas pelo INPE. Os períodos “Safra” e “Entressafra” foram definidos de acordo com BRASIL/CONAB (2014).

Utilizou-se o programa computacional SIGMAPLOT para a elaboração do modelo que explicasse a relação entre as variáveis. Construiu-se um modelo tridimensional, onde a variável resposta foi definida como a estimativa do número médio de ocorrências no período “Safra”, denominada Z; o número médio de ocorrências do período “Entressafra” foi plotado no eixo X; os valores médios trimestrais dos índices de variabilidade climática foram plotados

de forma separada, um por vez, no eixo Y. No modelo considerou-se também a hipótese de que o valor de “c” fosse igual a zero (a função do valor “c” é indicar quando a parábola corta o eixo Y, com coordenadas  $X_1, Y_1$ , sendo  $X_1$  igual a zero, o valor de “c” corresponderia ao valor de  $Y_1$ , no caso de “c” igual a zero,  $Y_1$  também assumiria o valor 0). Nesta condição pressupõe-se não existir doença sem inóculo inicial e sem que haja condições de favorabilidade ambiental para a ocorrência da infecção. Além dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ), também foi analisada a significância da regressão obtida para testar a validade do modelo.

Para as regressões polinomiais lineares que obtiveram um elevado coeficiente de determinação buscou-se uma melhor explicação do modelo, com a aplicação de regressão polinomial quadrática aos mesmos dados utilizados na regressão polinomial linear.

**Tabela 1** – Distribuição dos municípios com relato de ocorrência de ferrugem no CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM, nas safras 2004/2005 a 2014/2015, de acordo com sua região, para o Estado do Mato Grosso, segundo INPE (2015).

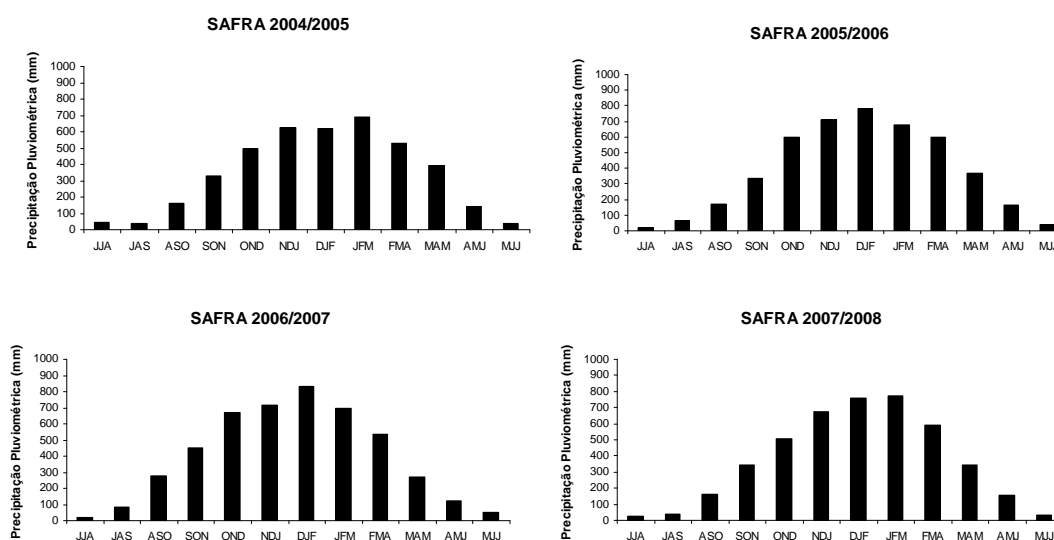
REGIÃO/MU NICÍPIO	REGIÃO/MU NICÍPIO	REGIÃO/MU NICÍPIO	REGIÃO/MU NICÍPIO	REGIÃO/MU NICÍPIO	REGIÃO/MU NICÍPIO	REGIÃO/MU NICÍPIO	REGIÃO/MU NICÍPIO	REGIÃO/MU NICÍPIO	REGIÃO/MU NICÍPIO	REGIÃO/MU NICÍPIO	REGIÃO/MU NICÍPIO
<b>Região 68</b>	<b>Região 69</b>	<b>Região 70</b>	<b>Região 71</b>	<b>Região 79</b>	<b>Região 80</b>	<b>Região 81</b>	<b>Região 82</b>	<b>Região 89</b>	<b>Região 90</b>	<b>Região 91</b>	<b>Região 98</b>
Brasnorte	Cláudia Ipiranga do Norte Itaúba	Feliz Natal Marcelândia	Alto da Boa Vista Bom Jesus do Araguaia São Félix do Araguaia	Novo do Campo Parecis Campos de Júlio Comodoro	Alto Paraguai Arenópolis Diamantino	Água Boa Gaúcha do Norte Nova Ubiratã	Canarana Nova Xavantina Ribeirão Cascalheira	Acorizal Chapada dos Guimarães Jaciara	Alto Araguaia Alto Garças Campo verde	Barra do Garças	Alto Taquari
	Sinop Tabaporã Vera	Querência Santa Carmem	Serra Nova Dourada	Sapezal Tangará da Serra	Lucas do Rio Verde Nobres Maringá	Paranatinga Planalto da Serra Santo Antonio do Leste		Leverger	Dom Aquino General Carneiro Guiratinga		
					Nova Mutum Santa Rita do Trivelato São José do Rio Claro Sorriso Tapurah				Itiquira Juscimeira Novo São Joaquim Pedra Preta Poxoréo Primavera do Leste Ribeirãozinho Rondonópolis Tesouro		

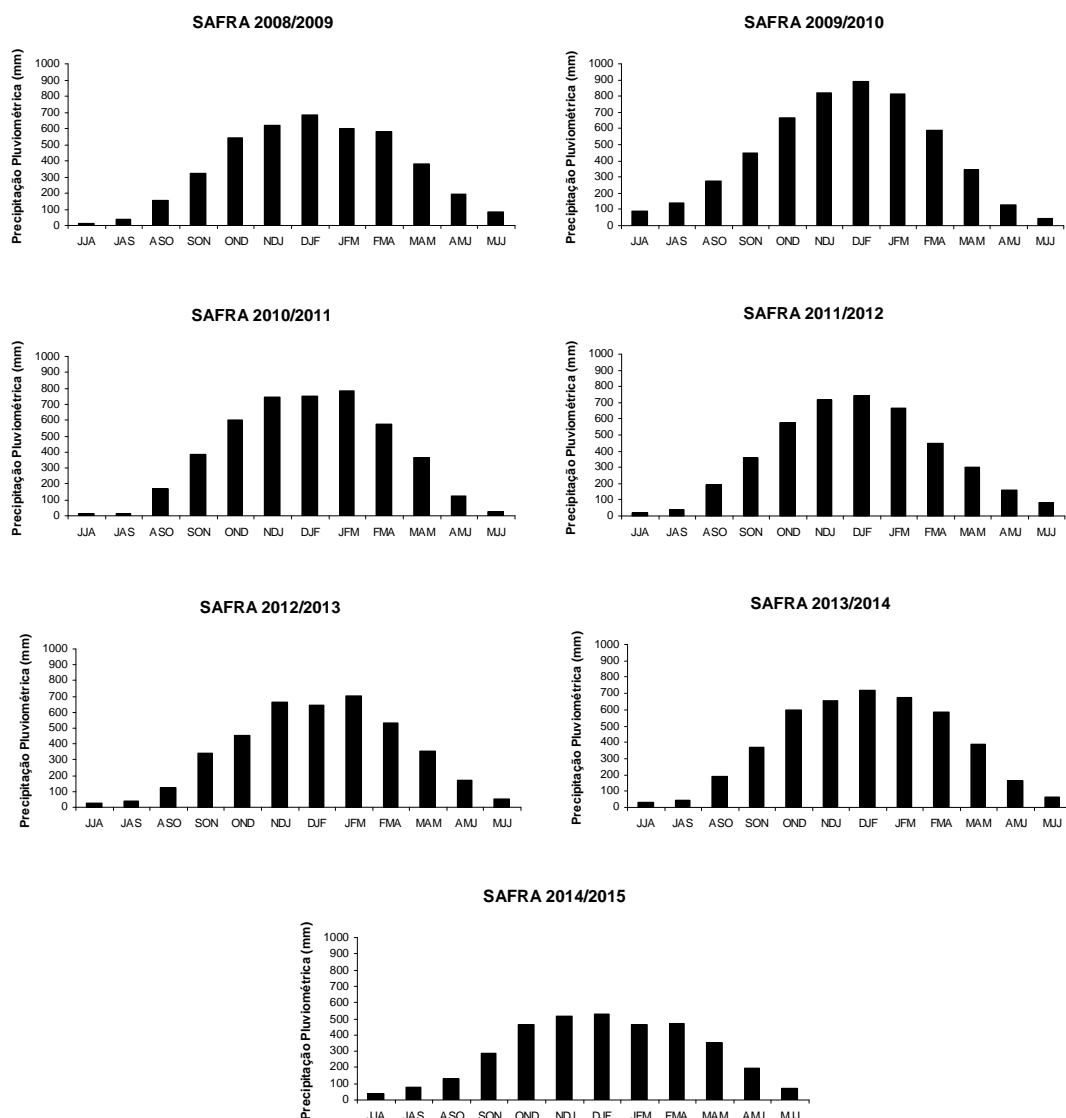
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA

Os dados de precipitação pluviométrica acumulada para os trimestres do ano, estão apresentados na Figura 3, para todas as safras estudadas. Observa-se que as safras possuem chuvas bem distribuídas e volumosas a partir do trimestre Setembro-Outubro-Novembro (SON) até o trimestre Março-Abril-Maio (MAM), com precipitações pluviométricas trimestrais que chegam próximas aos 900 mm no trimestre Dezembro-Janeiro-Fevereiro (DJF), como foi verificado para a safra 2009/2010.

Após o trimestre DJF começa a ocorrer uma diminuição da precipitação pluviométrica que até o trimestre MAM é considerada como sendo um volume aceitável para as necessidades da soja. Os trimestres Abril-Maio-Junho (AMJ), Maio-Junho-Julho (MJJ), Junho-Julho-Agosto (JJA), Julho-Agosto-Setembro (JAS) e Agosto-Setembro-Outubro (ASO), são trimestres de baixo volume de chuvas, sendo os trimestres JJA e JAS os mais críticos, com precipitações pluviométricas trimestrais ficando próximas de 0 mm, como o ocorrido para a safra 2010/2011.





**Figura 3** Precipitação pluviométrica acumulada trimestral (mm) nas safras (2004/2005 a 2014/2015), para o Estado do Mato Grosso.

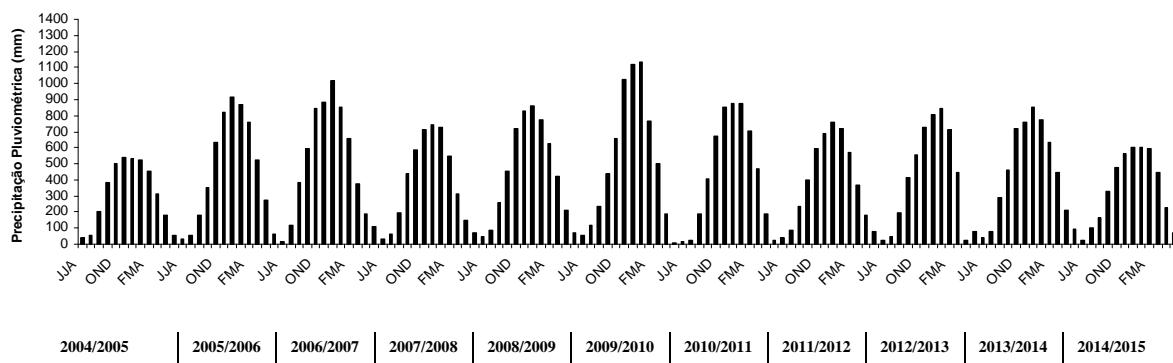
Analisando períodos de ocorrências dos fenômenos El Niño e La Niña, de acordo com (BRASIL/INPE, 2015), as safras 2004/2005, 2006/2007 e 2009/2010 foram consideradas de ocorrência de El Niño de fraca intensidade, enquanto que na safra 2007/2008, de acordo com a mesma fonte, houve o evento La Niña de forte intensidade. Em anos de El Niño espera-se maior volume pluviométrico na região sul do Brasil do que na região norte/nordeste e em anos de La Niña o oposto disto (KOUSKY et al., 1984). Porém devido ao Estado do Mato Grosso estar em uma região centro-oeste, entre as regiões sul e norte, os dados apresentados demonstraram que para o fenômeno El Niño, somente a safra 2009/2010 seguiu fielmente esta descrição.

A safra 2014/2015 foi a que apresentou baixa precipitação pluviométrica trimestral,

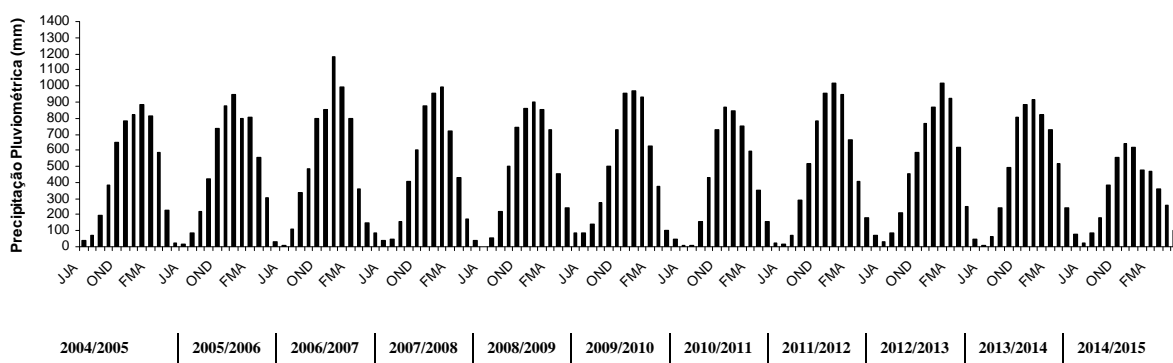
mesmo não sendo caracterizada como de ação do fenômeno La Niña ou El Niño.

Os fenômenos El Niño e La Niña, que influenciam diretamente o comportamento dos elementos meteorológicos nas regiões sul e região norte do Brasil, não foram tão impactantes para o Estado do Mato Grosso.

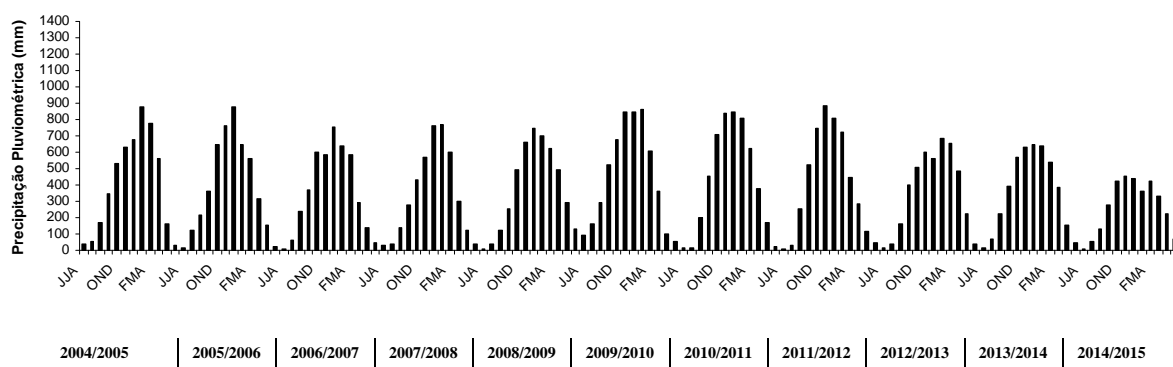
#### REGIÃO 68



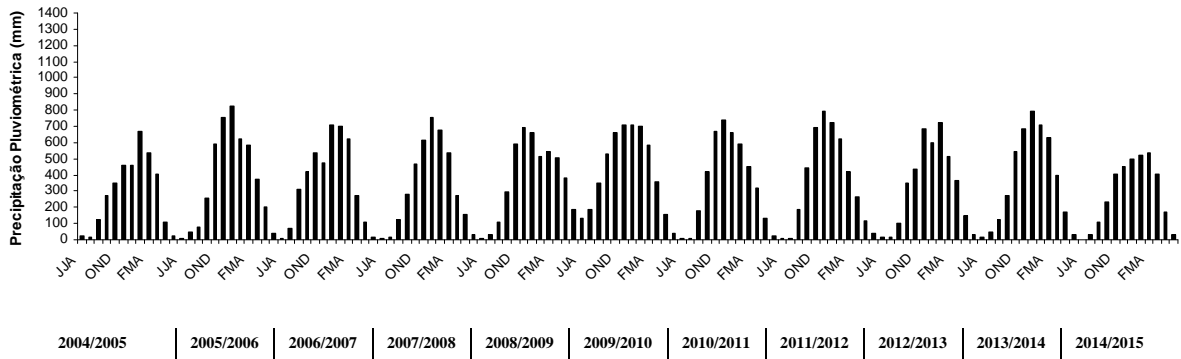
#### REGIÃO 69



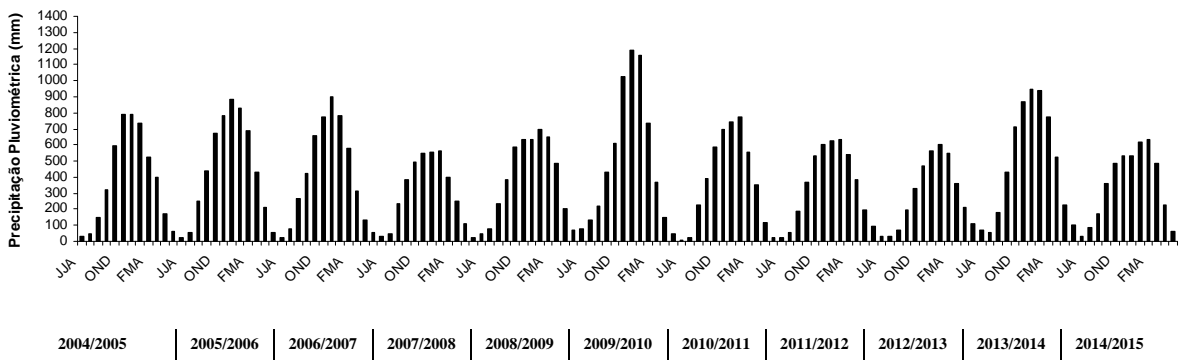
#### REGIÃO 70



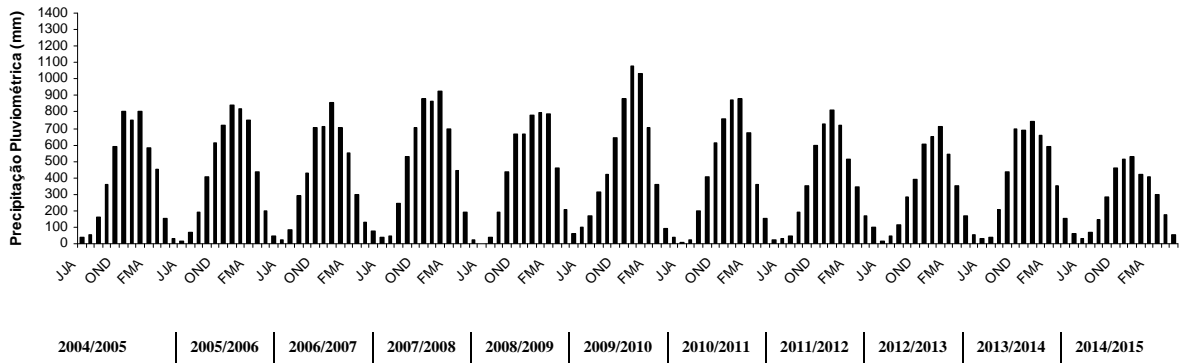
**REGIÃO 71**



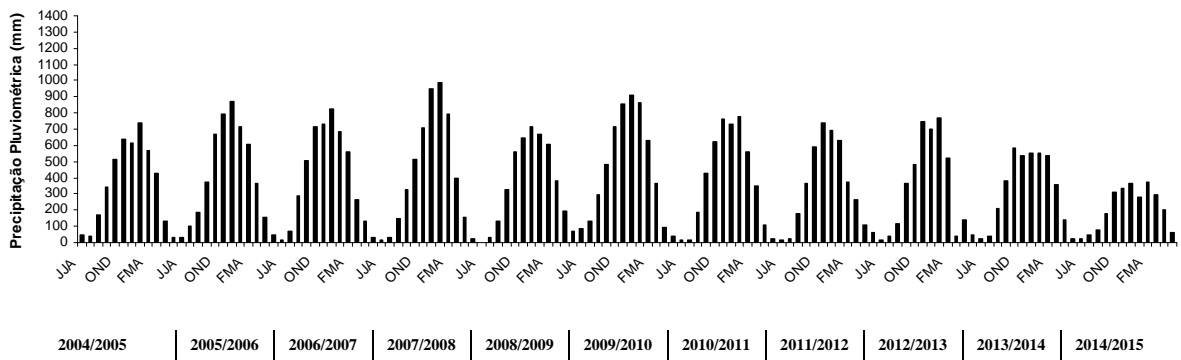
**REGIÃO 79**



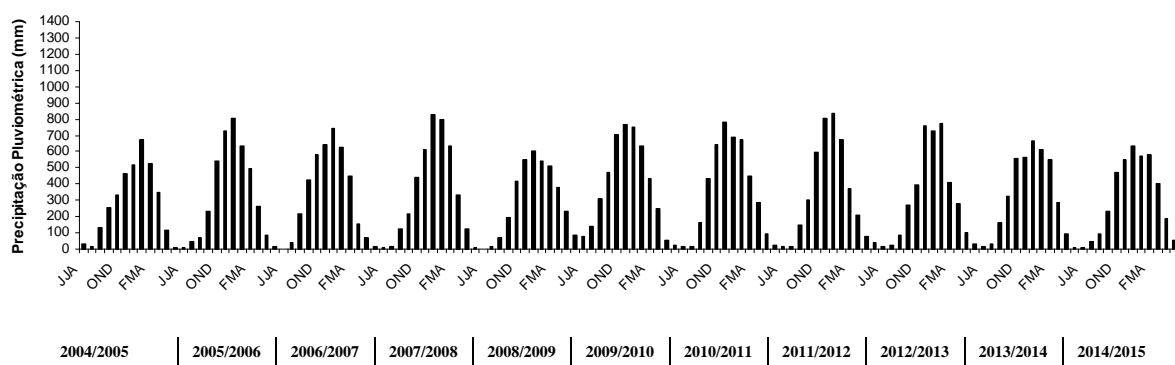
**REGIÃO 80**



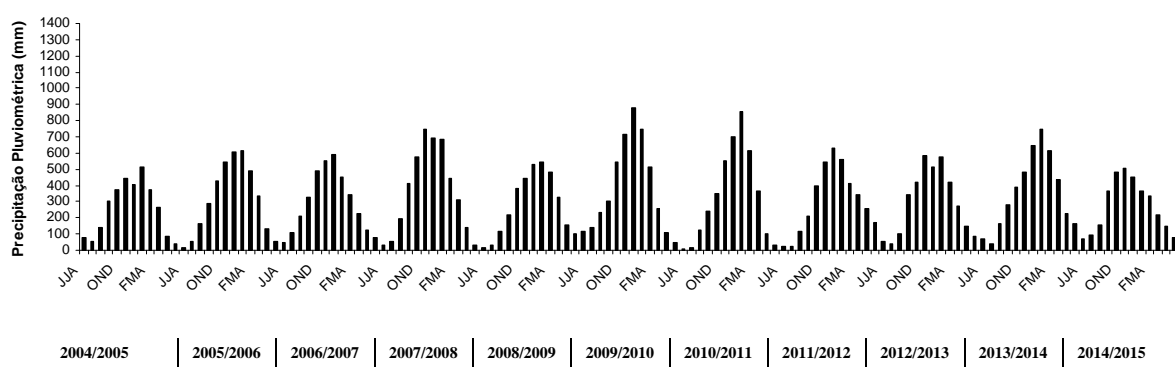
**REGIÃO 81**



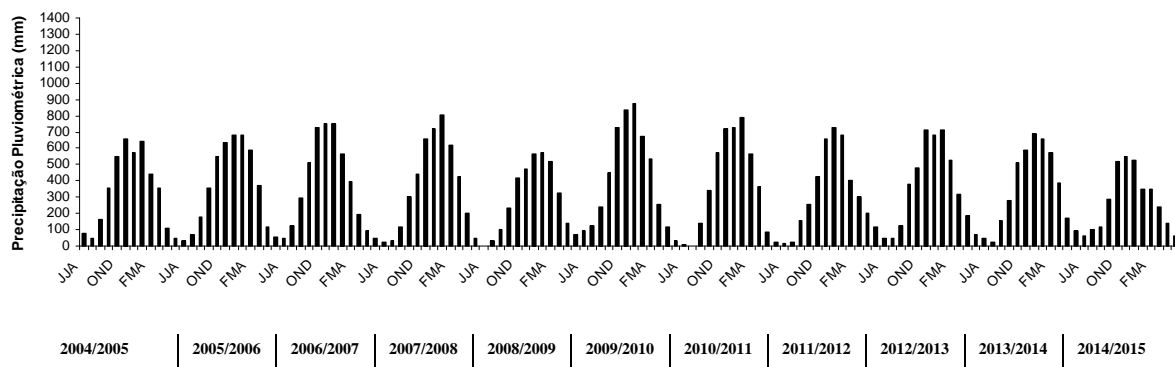
## REGIÃO 82



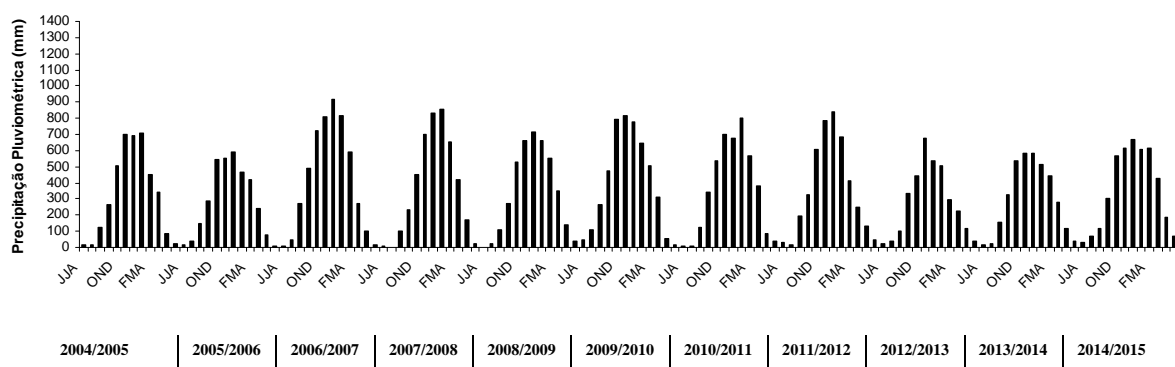
## REGIÃO 89

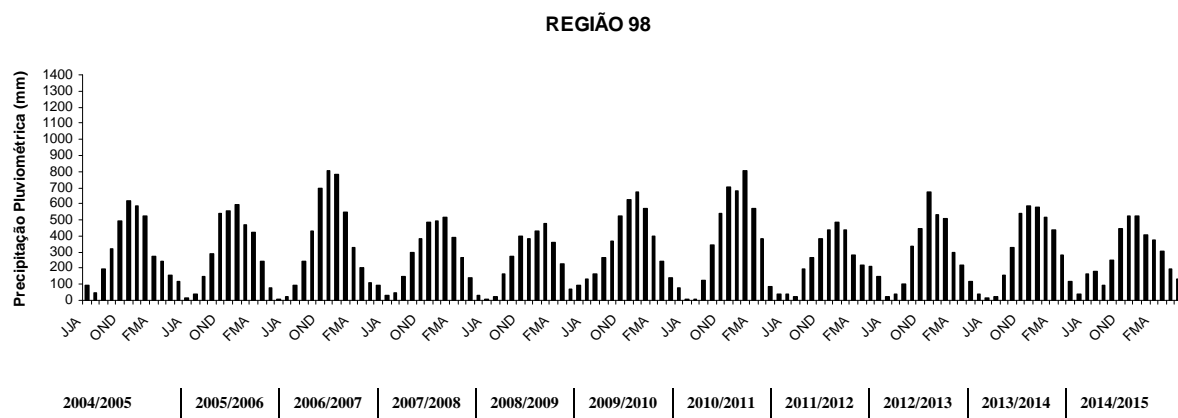


## REGIÃO 90



## REGIÃO 91





**Figura 4** Precipitação pluviométrica acumulada trimestral (mm) para as regiões 68, 69, 70, 71, 80, 81, 82, 89, 90, 91 e 98, definidas pelo INPE nas safras 2004/2005 a 2014/2015 para o Estado do Mato Grosso.

Os dados apresentados na Figura 4 demonstraram que a precipitação pluviométrica trimestral tende a ser maior para as regiões situadas mais ao norte do Estado do Mato Grosso, com valores podendo chegar à ordem dos 1.000 mm. para os trimestres mais chuvosos Novembro-Dezembro-Janeiro (NDJ) e Dezembro-Janeiro-Fevereiro (DJF), provavelmente devido à grande influência das massas de ar vindas da ação da floresta amazônica e da cordilheira dos Andes existente no território da Bolívia, vizinha desse Estado.

As regiões localizadas mais ao sul, sofrem ação menos intensas dessas massas de ar, mas são atingidas pelas massas de ar polares que se deslocam do sul para o norte, que mesmo sendo de fraca intensidade, também influenciam o clima nesta região

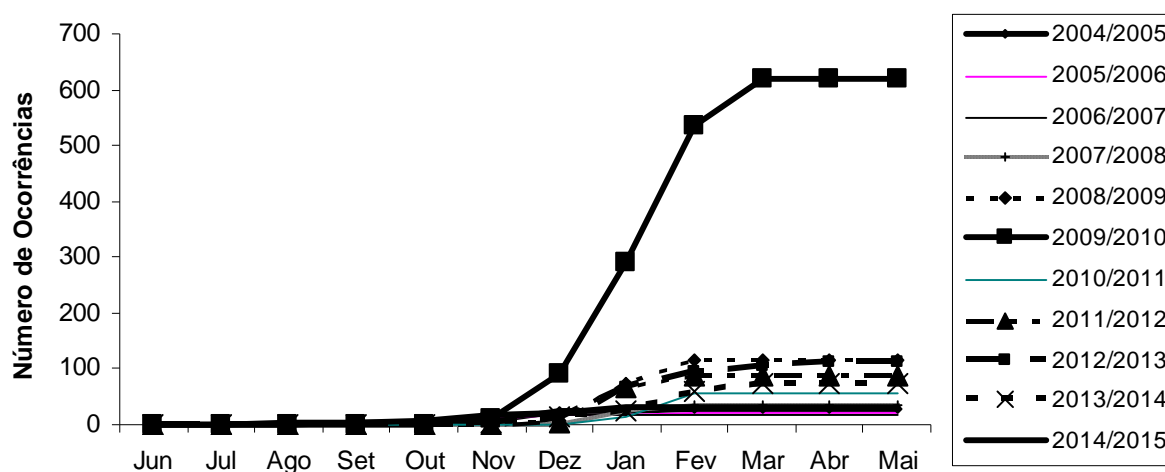
A baixa precipitação pluviométrica verificada nos trimestres considerados de entressafra dificulta a semeadura antecipada e o desenvolvimento inicial da cultura para as condições do Estado do Mato Grosso. A antecipação da semeadura ou o seu plantio tardio somente são viáveis se isto ocorrer sob condições de irrigação, o que foi verificado, quando os agricultores que detém esta tecnologia, utilizando pivôs centrais, iniciam semeadura logo após o vazio sanitário, ou em condições especiais de plantio, autorizados pelo Instituto de Defesa Agropecuária do Estado do Mato Grosso (INDEA), onde o chamado “plantio excepcional”, devidamente autorizado por este órgão pode ser realizado após o mês de dezembro até o mês março. As semeaduras realizadas até os meses de fevereiro e março, certamente deverão ter o seu período reprodutivo sob irrigação. Se essa condição não for atendida, certamente haverá abortamento de flores e vagens, tal como ocorre em situações da planta submetida a estiagens.

A Figura 5 descreve o número de ocorrências acumuladas de ferrugem asiática

relatado no CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM para as safras 2004/2005 a 2014/2015, em todos os meses do ano. Pode-se observar que as safras 2009/2010, 2011/2012 e 2012/2013, apresentaram o maiores ocorrências, em ordem decrescente. As primeiras ocorrências na safra 2009/2010 foram descritas no mês de Novembro enquanto para as demais safras (2011/2012 e 2012/2013), tiveram o seu início nos meses de Outubro. A safra 2014/2015 apresentou ocorrências até o mês de setembro.

De acordo com o número de ocorrências de relatos de ferrugem esperava-se que as safras 2004/2005, 2006/2007 e 2009/2010 apresentassem maior número de ocorrências por serem anos de El Niño, onde deveria chover mais na região. Porém, esta constatação foi verificada apenas na safra 2009/2010.

A presença de áreas irrigadas com pivô central no Estado do Mato Grosso, por si só podem não ampliar a epidemia pelo estado, mas certamente podem servir de ponte para os esporos provenientes de regiões que possuem produção de esporos durante o período de entressafra. Caso se perdurem condições de alta umidade decorrentes de chuvas frequentes, esses esporos produzidos nas lavouras irrigadas poderiam se espalhar para as demais regiões produtoras, irrigadas ou não.



**Figura 5** Número de ocorrências acumuladas de ferrugem asiática da soja relatados nos diversos meses do ano nas safras 2004/2005 a 2014/2015, obtidos no banco de dados do CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM, para o Estado do Mato Grosso (BRASIL/CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM (2015).

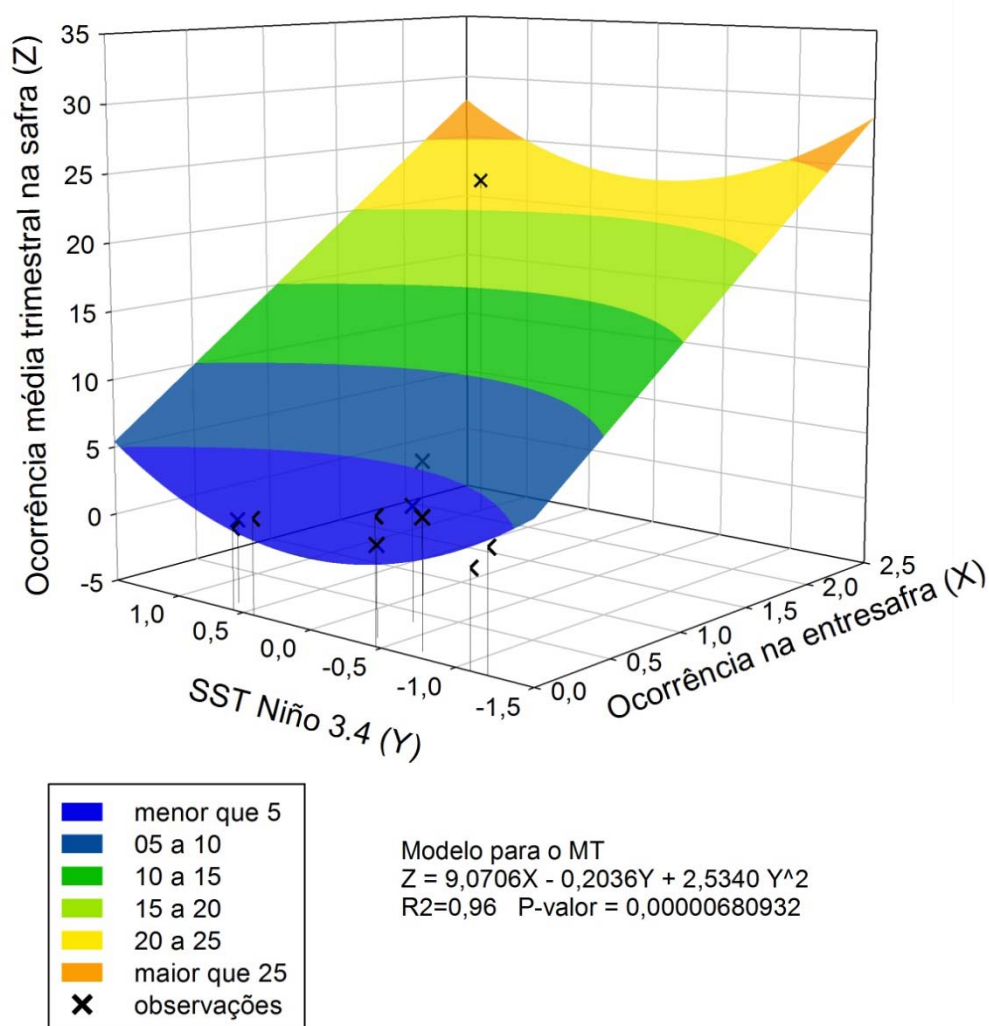
A Figura 6 descreve a relação existente entre as variáveis independentes “X”, representada pelo número médio trimestral de ocorrências de ferrugem asiática relatadas no período “Entressafra”, e “Y”, representada pelos valores médios trimestrais dos índices de

variabilidade climática SST Niño 3.4. A variável resposta “Z”, definiu o número médio trimestral de ocorrências estimado para o período “Safrá”.

Verificou-se que o número médio de ocorrências na “Safrá” variou de aproximadamente 5 para cerca de 28, quando o número médio de ocorrências na “Entressafrá” variou de 0 para 2,5, num intervalo de SST Niño 3.4 média de +1,5 a -1,5.

Pelos dados, mesmo que ocorram valores positivos de SST na “Safrá”, entre 1 a 1,5, e a ocorrência média de ferrugem na “Entressafrá” estiver entre 0 a 1, o número médio de ocorrências na “Safrá” foi de 5 a 10. Por outro lado, se a ocorrência média de ferrugem na “Entressafrá” estiver em torno de 2,0 a 2,5, considerando valores negativos máximos de SST Niño 3.4, o número médio de relatos verificados ficou em torno de 29 por trimestre. Quando se verificou o número médio máximo de ocorrências na “Entressafrá” e se relacionou com o maior valor positivo de SST Niño 3.4 para o período “Safrá”, o número médio máximo de ocorrências do período “Safrá” ficou em torno de 29.

A Figura 6 demonstrou que existiu interação positiva entre as variáveis, cabendo à ocorrência de ferrugem no período “Entressafrá” maior variação na ocorrência no período “Safrá” do que efeito da anomalia do SST Niño 3.4, que corroborou a importância do inóculo além das variáveis climáticas, apresentada nos trabalhos de CANTERI et al.(2007), DEL PONTE (2006b) e MINCHIO (2011).



**Figura 6** Superfície de resposta da ocorrência de ferrugem asiática da soja durante a “Safrá” (Z), pela regressão com as variáveis ocorrência na “Entressafrá”, (X) e a anomalia da SST Niño 3.4 no período “Safrá” (Y), para o Estado do Mato Grosso.

Os valores de p-valor detalhados na Tabela 2 indicaram que para os maiores valores de  $R^2$  estiveram associados os menores valores de p-valor. Os modelos que apresentaram os menores valores de p-valor são os mais recomendáveis, pela segurança no nível de probabilidade de acerto.

A Tabela 2 indicou que todas as variáveis tiveram  $R^2$  acima de 0,90 e maior valor de p-valor de 0,0003, na regressão polinomial quadrática, com constante diferente de zero, para a variável climática IOS-3 Safrá.

**Tabela 2** Coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e p-valor para as regressões polinomiais linear e quadrática encontradas no modelo tridimensional que relaciona a variável independente “X” ocorrência de ferrugem asiática no período “Entressafra” com a variável independente “Y”, como as variáveis climáticas do período “Safrá” e seus efeitos sobre a ocorrência de ferrugem asiática no período “Safrá”, para constante matemática diferente e igual a zero, para o Estado do Mato Grosso.

Tipo de Regressão Polinomial	Variável "X"	Variável "Y"	constante $\neq$ 0		constante=0	
			$R^2$	p-valor	$R^2$	p-valor
Linear	Ocorrência "Entressafra"	Precipitação Safrá	0,91	5,4582E-05	0,95	1,93599E-06
		SPI-3 Safrá	0,91	5,703E-05	0,92	1,19351E-05
		IOS-3 Safrá	0,93	2,0632E-05	0,95	1,71163E-06
		SST Niño 3.4 Safrá	0,92	3,625E-05	0,93	5,52953E-06
Quadrática	Ocorrência "Entressafra"	Precipitação Safrá	0,92	0,00027361	0,95	1,92959E-05
		SPI-3 Safrá	0,92	0,00035333	0,92	9,87129E-05
		IOS-3 Safrá	0,94	8,1224E-05	0,96	6,86286E-06
		SST Niño 3.4 Safrá	0,94	8,8979E-05	0,96	6,80932E-06

Verificou-se que na Tabela 3, tanto para o modelo de regressão polinomial linear quanto para o polinomial quadrático, todas as variáveis climáticas tiveram bom desempenho, tanto na condição de constante igual ou diferente de zero. Na condição de constante diferente de zero na regressão polinomial linear, a variável climática que se destacou foi o IOS-3, obtendo o maior coeficiente de determinação ( $R^2$ ), 0,93 e menor valor de p-valor, sendo o modelo mais recomendado nesta condição.

Os modelos obtidos na Tabela 3 evidenciaram que para a constante igual a zero, a regressão polinomial linear que melhor representou a relação entre as variáveis independentes ocorrência na “Entressafra”, correspondente à variável “X” e a variável climática Precipitação na Safrá e IOS-3 Safrá foram as que apresentaram maior  $R^2$ , de 0,95 para ambas. Preferiu-se optar por um modelo que evidenciasse um  $R^2$  maior e um p-valor menor, o que neste caso, pela variáveis climáticas precipitação e IOS-3, no período “Safrá”.

Quando se analisou o modelo gerado pela regressão polinomial quadrática, na situação em que a constante é diferente de zero, as variáveis climáticas IOS-3 e SST Niño 3.4 apresentaram o melhor desempenho, com  $R^2$  igual a 0,94 para ambas. Na situação de constante igual a zero, destacaram-se novamente o IOS-3 e o SST Niño 3.4, ambos no período “Safrá”, com valores de  $R^2$  de 0,96, seguidos da precipitação com  $R^2$  de 0,95.

Os melhores modelos para o Estado do Mato Grosso, quando se leva em

consideração o  $R^2$ , foram estiveram associados com a variável climática IOS-3, SST Niño 3.4 e precipitação pluviométrica, com valores de  $R^2$ , 0,96, 0,96 e 0,95, respectivamente. O melhor modelo porém é o da anomalia do SST Niño 3.4 que obteve o menor valor de p-valor.

**Tabela 3** Modelo matemático para determinação do número de ocorrências do período “Safrá”, obtido a partir de Regressões polinomiais do tipo linear e quadrática, tendo como base a variável independente “X” ocorrência de ferrugem asiática no período “Entressafrá” com a variável independente “Y”, como as variáveis climáticas do período “Safrá” e “Z”, a variável dependente, ocorrência de ferrugem asiática no período “Safrá, para constante matemática diferente e igual a zero, para o Estado do Mato Grosso.

Tipo de Regressão Polinomial	Variável "X"	Variável "Y"	constante $\neq$ 0		constante=0	
			MODELO	$R^2$	MODELO	$R^2$
Linear		Precipitação Safrá	$Z=-0,6285+8,8022X+0,0048Y$	0,91	$Z=8,8554X+0,0035Y$	0,95
		SPI-3 Safrá	$Z=1,7848+8,8412X+0,3578Y$	0,91	$Z=10,2758X-1,1886Y$	0,92
		IOS-3 Safrá	$Z=0,9932+9,6037X+1,0510Y$	0,93	$Z=10,3574X+1,5656Y$	0,95
	Ocorrência "Entressafrá"	SST Niño 3.4 Safrá	$Z=1,2769+9,6125X-0,9885Y$	0,92	$Z=10,7592X-1,7482Y$	0,93
Quadrática		Precipitação Safrá	$Z=27,7472+8,07814X-0,1246Y+0,0001Y^2$	0,92	$Z=8,6914X-0,0001Y+0,000007Y^2$	0,95
		SPI-3 Safrá	$Z=1,9331+8,2750X+1,5646Y+0,9655Y^2$	0,92	$Z=10,1453X-0,8736Y+0,2819Y^2$	0,92
		IOS-3 Safrá	$Z=0,7061+9,5200X+0,1590Y+0,7537Y^2$	0,94	$Z=9,9563X+0,1814Y+1,0024Y^2$	0,96
		SST Niño 3.4 Safrá	$Z=0,6436+8,8916X-0,1857Y+1,9352Y^2$	0,94	$Z=9,0706X-0,2036Y+2,5340Y^2$	0,96

Os resultados confirmaram a importante influência da chuva sobre a epidemia, porém, a quantidade de inóculo inicial referenciado neste trabalho como as ocorrências verificadas no período “Entressafrá”, pode também ter explicado os efeitos positivos sobre as ocorrências do período “Safrá” e “Ano Todo” (CANTERI et al.(2007b); DEL PONTE (2006b) e MINCHIO (2011).

Estas informações indicaram que dependendo do número de ocorrências relatado no site do CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM para o período “Entressafrá”, este número poderá influenciar diretamente no número de ocorrências durante o período “Safrá” vindoura, numa relação quadrática, ao nível de 1% de significância.

Evidenciou-se que o número de ocorrências deve ser melhor acompanhado durante o período “Entressafrá”, pois este número associado com o acompanhamento da precipitação, dos índices IOS-3 e SST Niño 3.4 possibilitarão prever com maior clareza o número de ocorrências provável para o período “Safrá” no decorrer do ano agrícola, no Estado do Mato Grosso.

## CONCLUSÃO

O número de ocorrências de ferrugem asiática do período “Safrá”, obtidos do site do CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM, tem forte relação com os índices de oscilação Sul (IOS-3) e temperatura na superfície do mar (SST Niño 3.4), do Oceano Pacífico tropical com a ocorrência da doença no período da “Entressafrá”, nas safras analisadas, possibilitando a construção de um modelo matemático tridimensional.

Verificou-se que as ocorrências relatado no período “Entressafrá” associadas às variáveis climáticas IOS-3 e SST Niño 3.4, influenciaram positivamente no número de relatos do período “Safrá”, com interação também positiva entre esta associação, para o Estado do Mato Grosso.

O modelo que melhor explicou a ocorrência de ferrugem na “Safrá” foi o que associou a anomalia do SST Niño 3.4 com a ocorrência na “Entressafrá”, por ter apresentado menor valor de p-valor.

## REFERÊNCIAS

- BERGAMIN FILHO, A. Epidemiologia comparativa: ferrugem da soja e outras doenças. In: Zambolin, L. (Org.) **Ferrugem Asiática da Soja**, Visconde do Rio Branco: Suprema Gráfica e Editora. 2006. pp.15-35.
- BERLATO, M.A.; FARENZENA, H.; FONTANA, D.C. Associação entre El Niño Oscilação Sul e a produtividade do milho no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.5, p.423-432, 2005.
- BLAIN, G.C.; BRUNINI, O. Análise da escala temporal de monitoramento das secas agrícolas e meteorológicas no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.22, n.2, 255-261, 2007.
- BRASIL/CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Terceiro Levantamento. Brasília, v2, n.3, p.1-100, 2014.
- BRASIL/CONSORCIO ANTIFERRUGEM. **Consórcio antiferrugem**. Disponível em: <http://www.consorcioantiferrugem.net>, acessado em 10/08/2015.
- BRASIL/INPE Informações sobre produtos de monitoramento climático mensal e sazonal das chuvas no Brasil na página do CPTEC/INPE. CPTEC/INPE. Cachoeira Paulista. 2014. Disponível em: [http://clima1.cptec.inpe.br/~rclima1/pdf/Documento\\_produto\\_indice.pdf](http://clima1.cptec.inpe.br/~rclima1/pdf/Documento_produto_indice.pdf), acessado em 08/08/2015.
- BROMFIELD, K. **Soybean rust**. Monografia nº 11. The American Phytopathological Society. St. Paul, 65p., 1984.
- CANTERI, M.G.; CARAMORI, P.; TSUKAHARA, R.; SILVA, O.; FARIA, R.; GODOY, C.V. A system to map risk of infection by *Phakopsora pachyrhizi* for Paraná State, Brazil. **Phytopathology**, v.95, n.6, S16 (Suplemento), junho 2005.
- CANTERI, M.G.; TSUKAHARA, R.Y.; SILVA, O.C. Monitoramento das variáveis ambientais para controle da ferrugem asiática da soja. In: XL Congresso Brasileiro de Fitopatologia, 2007, Maringá. **Fitopatologia Brasileira**. Brasília : SBF, 2007. v. 32. p. 65-66.
- CAVIGLIONE, J.H. Contribuição pessoal na elaboração de mapas, 2015
- DEL PONTE(a), E.M.; GODOY, C.V.; LI, X.; YANG, X.B. Predicting severity of asian soybean rust epidemics with empirical rainfall models. **Phytopathology**, v.96, n.7, p.797-803, 2006.
- DEL PONTE(b), E.M. Retrospectiva e tendências em modelagem matemática e previsão de ferrugem asiática. **Revista Plantio Direto**, p.21-30, nov/dez 2006

- DEL PONTE, E.M.; ESKER, P.D. Considerações epidemiológicas na avaliação de risco e manejo da ferrugem asiática da soja. In: XL Congresso Brasileiro de Fitopatologia, 2007, Maringá. **Fitopatologia Brasileira**, 2007. v. 32. p. S58-S60.
- DIAZ, A.F.; STUDZINSKI, C.D. MECHOSO, C.R. Relationships between precipitation anomalies in Uruguay and Southern. **Journal of Climate**, v.11, p.251-271, 1998.
- DUFAULT, N.S.; ISARD, S.A.; MAROIS, J.J.; WRIGHT, D.L. Removal of wet deposited *Phakopsora pachyrhizi* urediniospores from soybean leaves by subsequent rainfall. **Plant Disease**, St. Paul, v. 94, n. 11, p. 1336-1340, 2010.
- EUA/NOAA. National Oceanic Atmospheric Administration. Disponível em <<http://www.cpc.ncep.noaa.gov>>, acessado em 10/08/2015.
- FERREIRA, D.B. Relações entre a variabilidade da precipitação e a produtividade agrícola de soja e milho nas regiões sul e sudeste do Brasil. Dissertação. INPE. São José dos Campos, 2005.
- FONTANA, D.C.; BERLATO, M.A. Relação entre o El Niño Oscilação Sul (ENOS), precipitação e rendimento de milho no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v.2, n.1, p.39-45, 1996.
- HARTMAN, G.L.; MILES, M.R.; FREDERICK, R.D. Breeding for resistance to soybean rust. **Plant Disease**, v.89, n.6, p.664-666, 2005
- HENNEN, J.F. The taxonomy of the soybean rusts. P.29-32. In: SINCLAIR, J.B.; HARTMAN, G.L.(eds). **Proceedings of the rust workshop**, 9-10 August, 1995
- KOUSKY, V.E.; CAVALCANTI, I.F.A. Eventos Oscilação Sul/El Niño. Características, evolução e anomalias de precipitação. **Ciência e Cultura**, v.36, n.11, p.1888-1899, 1984.
- KOUSKY, V.E.; KAYANO, M.T.; CAVALCANTI, I. F. A. A review of the southern oscillation oceanic atmospheric circulation changes and related rainfall anomalies. **Tellus**, v.36, p.490-504, 1984.
- McKEE, T.B.; DOESKEN, N.; KLEIST, J. The relationship of drought frequency and duration to time scales. Eight Conference on Applied Climatology. Anaheim, California. Jan, 1993.
- MEGETO, G.A.S.; OLIVEIRA, S.R.M.; DEL PONTE, E.M.; MEIRA, C.A.A. Árvore de decisão par classificação de ocorrências de ferrugem asiática em lavouras comerciais com base em variáveis meteorológicas. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v.34, n.3, p.590-599, 2014.
- MINCHIO, C. A. Determinação da provável origem do inóculo de *Phakopsora pachyrhizi* e interação entre estágio fenológico, favorabilidade ambiental e presença do inóculo para

controle da doença. Dissertação de Mestrado em Agronomia. Universidade Estadual de Londrina, Londrina, ,2011, 116p.

PIVONIA, S. YANG, X.B. Assessment of the potential year-round establishment of soybean rust through the world. **Plant Disease**, v. 88, p. 523-529, mai 2004.

RAO, V.B.; HADA, K. Characteristics of rainfall over Brazil: annual variations and connections with the Southern Oscillation. **Theoretical Applied Climatology**, v.42, p.81-91, 1990.

REIS, E.M. **Previsão de doenças de plantas**. Passo Fundo: UPF, 2004. 316p

REIS, E.M. Critérios baseados em sistemas de aviso: modelo climático. In: Reis, E.M. (Org.) **Critérios indicadores do momento para aplicação de fungicidas visando ao controle de doenças em soja e trigo**. 1ª. Passo Fundo: Aldeia Norte, 2009, pp.103-109.

REIS, E.M.; CASA, R.T. Análise crítica dos critérios atuais. In: Reis, E.M. (Org.) **Critérios indicadores do momento para aplicação de fungicidas visando ao controle de doenças em soja e trigo**. 1ª. Passo Fundo: Aldeia Norte, 2009, pp.135-147.

ROPELEWSKI, C.F.; HALPERT, M.S. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño / Southern Oscillation. **Monthly Weather Review**, v.115, p. 1606-1626, 1987.

ROPELEWSKI, C.F.; HALPERT, M.S. Precipitation patterns associated with the high index phase of the southern oscillation. **Journal of Climate**, v. 4, p. 268-284, 1989.

SEAB. Secretaria de Estado da Agricultura e Abastecimento. **Produção Agropecuária, Paraná**. Disponível em: < <http://www.ipardes.gov.br/imp/index.php> > Acesso em 08 agosto 2015.

SEIXAS, C.D.S; GODOY C.V. Vazio sanitário: panorama nacional e medidas de monitoramento. In: Simpósio Brasileiro de Ferrugem Asiática da Soja, I, 2007, Londrina. **Anais**. Londrina. EMBRAPA-SOJA, 2007, p.23-32.

TEIXEIRA, C.F.A.; DAMÉ, R.C.F.; BACELAR, L.C.S.; SILVA, G.M.; COUTO, R.S. Intensidade da seca utilizando índices de precipitação. **Revista Ambiente & Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v.8, n.3, 2013.

TSCHANZ, A.T.; WANG, T.C.; TSAI, B.Y. Recent advances in soybean rust research. In: SHANMUGASUNDARAM, S.; SULZBERGER, E.W.; MCLEAN, B.I. **Soybean n tropical and subtropical cropping system**. Asian vegetable research and development center, p.237-245, 1984

TSCHANZ, A.T.; SHANMUGASUNDARAM, S. Soybean rust. In: World soybean research conference III; Proceedings./ ed. by Shibles, R.; Boulder, CO : Westview Press. p.562-567.

ref. (Text in En) (AVRDC/SP) (AVRDC Staff Publication) (SB205.S7W6 1985). Disponível em: <<http://203.64.245.61/pub-5.htm>>, acessado em 12/06/2011.

YORINORI, J.T.; PAIVA, W.M.; FREDERICK, R.D.; COSTAMILAN, L.M.; BERTAGNOLLI, P.F. Epidemics of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in Brazil and Paraguay from 2001 to 2003. **Plant Disease**, v.89, n.6, p. 675-677, junho 2005.

**ESTUDO DE CASO: PREVISÃO DE EPIDEMIAS DE FERRUGEM ASIÁTICA A PARTIR DO FENÔMENO ENOS, PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA E OCORRÊNCIA DE FERRUGEM ASIÁTICA NA ENTRESSAFRA PARA OS ESTADOS DO PARANÁ, RIO GRANDE DO SUL E MATO GROSSO.**

*Prediction of Asian soybean rust from the ENSO phenomenon, rainfall and Asian rust occurrence in the off season for Paraná, Rio Grande do Sul and Mato Grosso States.*

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi prever epidemias de ferrugem asiática da soja para a safra 2015/2016 a partir dos modelos desenvolvidos utilizando-se os índices de variabilidade climática e a ocorrência da doença no período da entressafra, para os Estados do Paraná, Rio Grande do Sul e Mato Grosso. Tendo como base as regressões polinomiais quadráticas, desenvolvidas para um modelo tridimensional, que estimou os efeitos sobre a variável dependente número de ocorrências da safra ( $Z$ ), relatados no *site* do Consórcio Antiferrugem, as variáveis climáticas foram consideradas como variáveis independentes ( $Y$ ) utilizando-se as variáveis com maior coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e menor valor de  $p$ -valor, todos para espaço temporal trimestral. O número de ocorrências de sintomas de ferrugem no período de entressafra foi considerado a variável independente ( $X$ ). Os modelos testados confirmaram até o momento os números reais de ocorrência de ferrugem asiática para os três Estados estudados. Evidenciou-se que as ocorrências durante o período “Entressafra”, associadas ao acompanhamento da precipitação, dos índices IOS-3 e SST Niño 3.4 possibilitaram prever com maior clareza as ocorrências para o período “Safra” 2015/2016, até o presente momento, nos Estados do Paraná, Rio Grande do Sul e Mato Grosso, numa relação quadrática, ao nível de 1% de significância.

**Palavras-chave:** Clima, epidemiologia, modelagem, *Phakopsora pachyrhizi*, prevendo.

## ABSTRACT

The objective was to predict soybean rust epidemics for 2015/2016 crop season, from the models developed using the climate variability index and the occurrence of the disease in the period between harvests, to the states of Parana, Rio Grande do Sul and Mato Grosso. Based on the quadratic polynomial regression, developed for three-dimensional model, which estimated the effect on the dependent variable number of occurrences of harvest ( $Z$ ), Anti-rust Consortium reported on the website of climate variables were considered as independent variables ( $Y$ ) using the variables with the highest coefficient of determination ( $R^2$ ) and lower p-value, all for quarterly timeline. The number of rust symptoms of occurrences in the off-season was considered the independent variable ( $X$ ). The models tested to date have confirmed the real numbers of occurrence of soybean rust to the three states studied. It was evident that the occurrences during the "off season", associated with the monitoring of precipitation, the IOS-3 and Niño 3.4 SST index made it possible to predict with greater clarity the occurrences for the period "Safrá" 2015/2016, to date, in the states of Parana, Rio Grande do Sul and Mato Grosso, a quadratic relationship, at 1% level of significance.

**Key words:** Climate, epidemiology, modeling, *Phakopsora pachyrhizi*, predicting.

## INTRODUÇÃO

O Brasil cultiva aproximadamente 32 milhões de hectares de soja, com produção estimada de 96 milhões de toneladas. O Estado do Mato Grosso é o maior produtor brasileiro, com área de plantio de 9,0 milhões de hectares, em segundo lugar se destaca o Estado do Paraná, com 5,2 milhões de ha e em terceiro lugar o Estado do Rio Grande do Sul com 5,1 milhões de ha, previstos na safra 2014/2015 (BRASIL/CONAB, 2014).

Um dos entraves que dificultam a plena produtividade da cultura é o complexo de doenças e dentre elas, está a ferrugem asiática da soja, causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi* Syd. & P. Syd., que tem um grande potencial destrutivo da lavoura. Em condições favoráveis à doença, são relatadas perdas que variam de 10 a 90% da produção (YORINORI et al.; HARTMAN et al., 2005).

*Phakopsora pachyrhizi* é considerado parasita obrigatório, sobrevivendo em outras plantas hospedeiras, plantas voluntárias de soja e lavouras de soja cultivadas na entressafra. O patógeno pode vir de regiões onde se encontra o hospedeiro, multiplicando-se pelo caminho, até chegar nas demais regiões produtoras ainda não infectadas (HENNEN, 1995; PIVONIA & YANG, 2004).

Um projeto que tornavam disponíveis as informações sobre a ocorrência de ferrugem asiática da soja em todo o território brasileiro, através de uma plataforma de dados, visível em *website*, foi idealizado e colocado em prática pelo Laboratório de Epidemiologia de Plantas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e o Grupo de Pesquisa Mosaico da Universidade de Passo Fundo – RS) responsável pela construção e manutenção do sistema, que foi denominado CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM. A EMBRAPA-SOJA, ficou responsável pela coordenação e o gerenciamento do conteúdo do website. A alimentação do sistema é feita por laboratórios e pesquisadores devidamente credenciados pelo consórcio (BRASIL/CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM, 2015).

No Brasil as plataformas computacionais desenvolvidas com a finalidade de se mapear riscos de epidemias estão baseadas em elementos meteorológicos como umidade relativa acima de 90%, temperatura do ar, duração do período de molhamento (CANTERI et al., 2007; REIS, 2004), visando definição de mapas de riscos climáticos e alertar para a necessidade de aplicação de fungicidas na lavoura.

Em revisão sobre previsão de risco da ferrugem asiática da soja, constatou-se ser a chuva responsável pela dispersão da doença em macroescala, associada à prevalência e dispersão da doença na América do Sul. Analisando as detecções no Paraná e Rio Grande do

Sul, verificou-se dispersão mais lenta da doença em anos mais secos do que em anos chuvosos, que resultaram em maior risco da doença (DEL PONTE, 2006; DEL PONTE et al. 2006).

Del Ponte & Esker (2007) concluíram que embora se disponha de modelos de previsão, ainda não se pode dispensar as atividades de monitoramento da dispersão da doença e divulgação de focos, ou mesmo da presença do inóculo no local, para avaliação em tempo real da doença.

O modelos atuais de previsão têm uma limitada capacidade de estimar corretamente a presença e a concentração do inóculo que irá iniciar as epidemias (DEL PONTE & ESKER, 2007).

Reis (2009) relatou que poucos modelos de previsão baseiam-se no monitoramento do inóculo relacionando-o com o início do desenvolvimento da doença por serem muito laboriosos. A maioria dos sistemas disponíveis tem como base os requerimentos climáticos para a multiplicação do inóculo e para a infecção.

Diante disso os modelos de previsão assumem que o inóculo está presente no ambiente, podendo, devido a este fato, levar a falhas na emissão de aviso de risco da doença (REIS & CASA, 2009).

Canteri et al. (2005) avaliaram que o fungo pode ser eficientemente controlado por fungicidas desde que estes sejam aplicados no momento certo. Algumas áreas têm requerido duas ou mais aplicações, outras apenas uma. Um sistema de mapeamento de risco climático para doença de planta foi desenvolvido para indicar risco de infecção para diferentes regiões do Paraná, e indicou que as regiões oeste e noroeste têm os mais baixos riscos de desenvolvimento da doença, estando as regiões central e sul como as de maior risco.

Megeto et al. (2014) em estudo visando modelar a influência de elementos meteorológicos sobre o número de ocorrências de ferrugem asiática de soja, obtidos no site do CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM, utilizaram a técnica da indução de árvores de decisão, na qual verificaram que os valores encontrados indicaram que para menores quantidades de chuva, tanto em número de dias com precipitação acima de 1mm, quanto para maior volume de chuva em um único dia, houve maior ocorrência da doença.

A partir dos equações desenvolvidas por esta tese, buscou-se elaborar um estudo de caso, para se checar os modelos obtidos com os números obtidos no site do CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM para o estabelecimento de previsão da epidemia de ferrugem asiática da soja na safra 2015/2016, para os Estados do Paraná, Rio Grande do Sul e Mato Grosso.

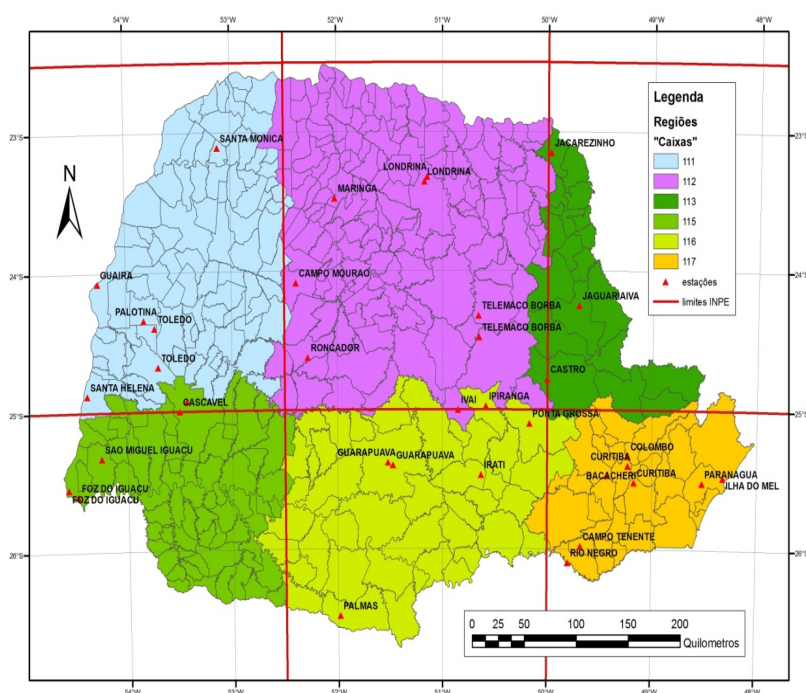
Este trabalho tem por objetivo prever de epidemias epidemias de ferrugem asiática

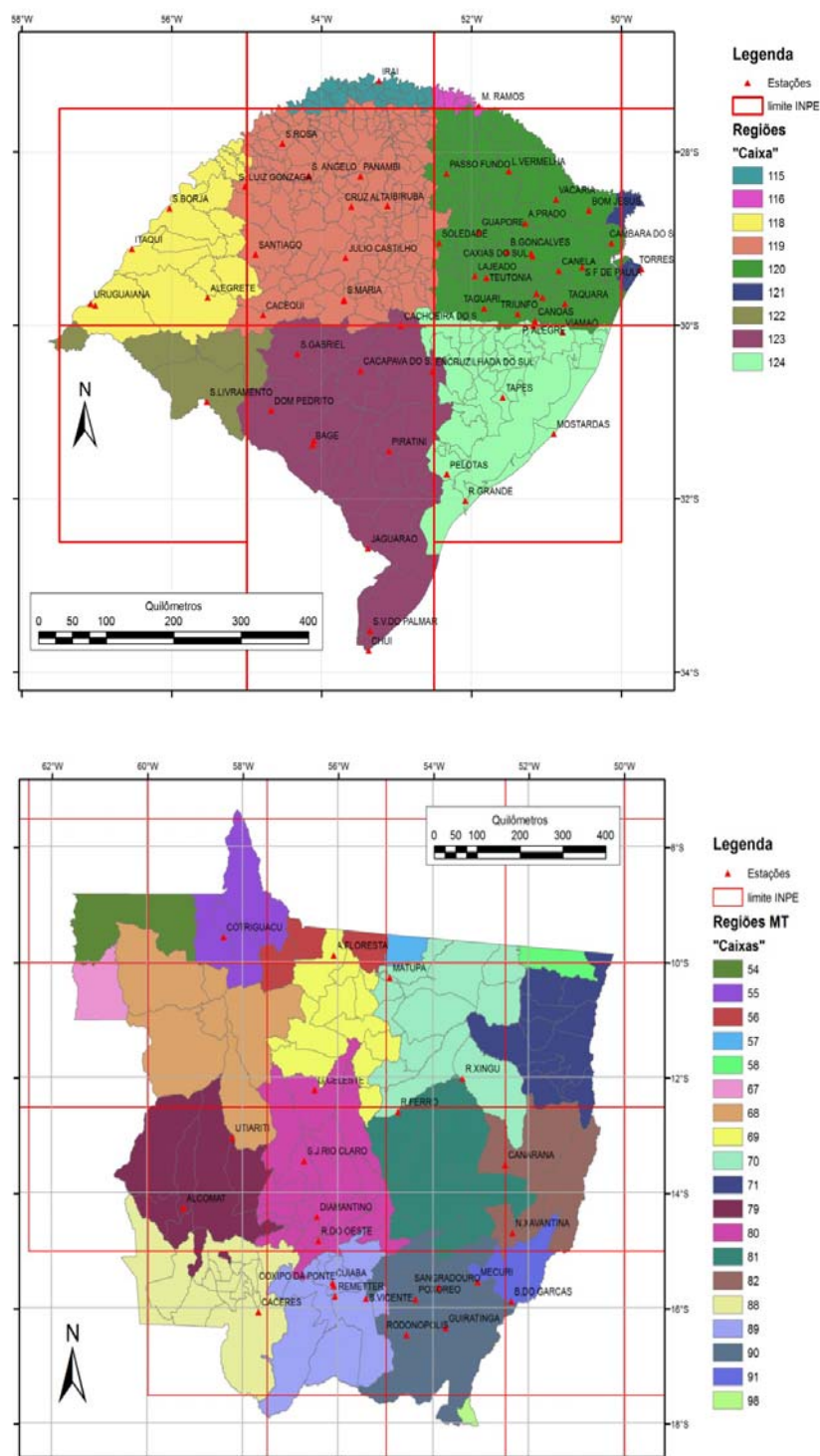
da soja a partir da relação entre os índices de variabilidade climática obtidos nos modelos de previsão, com o número de ocorrências da doença no período da entressafra, para os Estados do Paraná, Rio Grande do Sul e Mato Grosso.

## DESENVOLVIMENTO

Para investigar as relações entre o tempo e o aparecimento de sintomas de ferrugem asiática da soja nas regiões dos Estados do Paraná, Rio Grande do Sul e Mato Grosso, foram utilizados os dados existentes no banco de dados do CPTEC/INPE (Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos/ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) e Centros Estaduais/Regionais de Meteorologia, disponibilizados no site do CPTEC/INPE ([www.cptec.inpe.br/clima](http://www.cptec.inpe.br/clima)), com período disponibilizado de dados da safra 2015/2016 (BRASIL/INPE, 2016).

Os dados de precipitação pluviométrica acumulada (mm) são produtos disponibilizados através de visualização gráfica, com o valor SPI calculado para a escala temporal de 3 meses (Trimestre), a partir de janeiro de 1981 até os meses do ano corrente, abrangendo 124 regiões (caixas de 2,5° x 2,5° de latitude e longitude sobre o Brasil).





**Figura 1** Mapas dos Estados do Paraná, Rio Grande do Sul e Mato Grosso, com a localização das regiões estabelecidas pelo INPE e as estações meteorológicas que coletam dados para a base do INPE (Fonte: BRASIL/INPE(2015), adaptado por Caviglione (2015)).

Os dados utilizados de IOS-3, da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) encontram-se disponíveis na internet, <<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/>>. Os dados lá disponíveis estão na escala temporal trimestral e foram calculados utilizando anomalias normalizadas das pressões atmosféricas na superfície do mar em Darwin e Taiti.

Para o estudo da SST no número de ocorrências de ferrugem asiática, foi considerada uma região sobre o Oceano Pacífico Tropical, definida como Niño 3.4, compreendida entre as latitudes de 5° N a 5° S e longitudes de 170° W a 120° W para o acompanhamento das fases do ciclo ENOS, para a qual estão disponíveis os índices de anomalias trimestrais no site do NOAA (EUA/NOAA, 2016).

As informações relacionadas à ocorrência de sintomas de ferrugem asiática da soja nas diferentes regiões dos Estado do Paraná, Rio Grande do Sul e Mato Grosso, foram obtidas a partir o site do CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM (<<http://www.consorcioantiferrugem.net>>), para a safra 2015/2016.

Os eventos foram agrupados por mês de ocorrência e posteriormente, somados para um espaço temporal de 3 meses. Pelo agrupamento de eventos ocorridos, de forma sazonal, ficaram distribuídos pelos trimestres NDJ (Novembro-Dezembro-Janeiro), DJF (Dezembro-Janeiro-Fevereiro), JFM (Janeiro-Fevereiro-Março), FMA (Fevereiro-Março-Abril), MAM (Março-Abril-Maio), AMJ (Abril-Maio-Junho), MJJ (Maio-Junho-Julho), JJA (Junho-Julho-Agosto), JAS (Julho-Agosto-Setembro), ASO (Agosto-Setembro-Outubro), SON (Setembro-Outubro-Novembro), OND (Outubro-Novembro-Dezembro).

Os dados por cidade onde a ferrugem foi diagnosticada pelo Laboratório credenciado pelo CONSÓRCIO, foram agrupados em regiões definidas pela base de dados do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), sendo: 68, 69, 70, 71, 80, 81, 82, 89, 90, 91 e 98, conforme demonstrado na Tabela 1 e Figura 2.

Utilizou-se o programa computacional SIGMAPLOT para a elaboração do modelo que explicasse a relação entre as variáveis. Construiu-se um modelo tridimensional, onde a variável resposta foi definida como a estimativa do número médio de ocorrências no período “Safra”, denominada Z; o número médio de ocorrências do período “Entressafra” foi plotado no eixo X; os valores médios trimestrais dos índices de variabilidade climática foram plotados de forma separada, um por vez, no eixo Y. No modelo considerou-se também a hipótese de que o valor de “c” fosse igual a zero (a função do valor “c” é indicar quando a parábola corta o eixo Y, com coordenadas  $X_1, Y_1$ , sendo  $X_1$  igual a zero, o valor de “c” corresponderia ao valor de  $Y_1$ , no caso de “c” igual a zero,  $Y_1$  também assumiria o valor 0). Nesta condição pressupõe-se não existir doença sem inóculo inicial e sem que haja condições de

favorabilidade ambiental para a ocorrência da infecção. Além dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ), também foi analisada a significância da regressão obtida para testar a validade do modelo.

Até o presente momento os casos de ferrugem asiática da soja relatados no site do CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM foram destacados na Tabela 1.

O Estado do Paraná é o Estado que mais apresentou ocorrências de ferrugem asiática até o momento, com uma média de 27 por trimestre durante a “Safrá”. Porém, na “Entressafrá”, este Estado não apresentou ocorrências. Diferentemente do Rio Grande do Sul, que teve em média 6,3 ocorrências no período “Entressafrá”, porém, na “Safrá” tem aproximadamente metade das ocorrências efetuadas pelo Estado do Paraná. Todo o planeta neste momento está sob a influência direta do fenômeno El Niño, onde no sul do Brasil, localização dos Estados do Paraná e Rio Grande do Sul, ocasiona elevados volumes de chuva sobre a região.

Para o Estado do Mato Grosso, o El Niño está sendo caracterizado nesta safrá como de escassez de chuva, o que está refletindo no baixo número de relatos de ferrugem asiática nas lavouras deste Estado (1,4 ocorrências médias por trimestre).

**Tabela 1** Ocorrência de ferrugem asiática da soja nos Estados do Paraná, Rio Grande do Sul e Mato Grosso, durante os períodos de “Entressafrá” e “Safrá”, na safrá corrente (2015/2016), obtidos no site do CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM, com respectivos valores de Precipitação média trimestral e anomalia média do SST Niño 3.4, no período “Safrá”.

ESTADO	“Entressafrá” (Média Trimestral)	“Safrá” (Média Trimestral)	Precipitação trimestral prevista	SST Niño 3.4 trimestral previsto
PR	0,0	27,0	650	+1,75
RS	6,3	14,8	600	+1,75
MT	0,0	1,4	140	+1,75

Os modelos matemáticos com maior valor de  $R^2$  e menor valor de p-valor foram obtidos para os três Estados e relacionados na Tabela 2.

**Tabela 2** Valores de ocorrência de ferrugem asiática da soja no período Safra 2015/2016, a partir de modelos matemáticos desenvolvidos para os Estados do Paraná, Rio Grande do Sul e Mato Grosso, onde a variável “X” representa as ocorrências no período “Entressafra” e “Y” as variáveis climáticas que tiveram melhor desempenho quanto a R<sup>2</sup> e p-valor.

ESTADO	Melhores modelos	Y	R <sup>2</sup>	p-valor	X	Z (previsão)	Z (real)
PR	$Z=3,0398X+5,1568Y+21,6882Y^2$	SST Niño 3.4	0,87	0,0006178	0,0	76,3	27,0*
	$Z=2,6740X+0,0269Y+0,00002Y^2$	Precipitação	0,87	0,0006243		25,9	
RS	$Z=3,2020X+0,0038Y+0,00003Y^2$	Precipitação	0,97	2,698E-06	6,3	33,3	14,8*
	$Z=4,1643X+1,5292Y+8,7374Y^2$	SST Niño 3.4	0,92	0,0001119		56,0	
MT	$Z=9,0706X-0,2036Y+2,5340Y^2$	SST Niño 3.4	0,96	6,809E-06	0,0	7,5	1,4*
	$Z=9,9563X+0,1814Y+1,0024Y^2$	IOS-3	0,96	6,863E-06		1,8	
	$Z=8,6914X-0,0001Y+0,000007Y^2$	Precipitação	0,95	1,93E-05		0,1	

\*Dados observados até o dia 13/01/16

Os modelos matemáticos selecionados para o cálculo da ocorrência de ferrugem asiática estão apresentando valores Z (previsão), muito próximos do que está acontecendo realmente na safra, aqui chamado de Z (real). O número de ocorrências médio por trimestre no período “Safra” para o Estado do Paraná está em torno de 27,0. O modelo que mais se aproximou do valor atual a partir dos dados de precipitação, calculou em média 25,9 ocorrências por trimestre. O modelo que liga a precipitação com o número de ocorrências na “Entressafra” é o que está apresentando maior proximidade com o valor real, para o Estado do Paraná.

O modelo desenvolvido para o Estado do Rio Grande do Sul, com a variável precipitação, calculou o valor de 33,3 ocorrências para a “Safra”, sendo este o que mais se aproximou do valor real, até o momento, de 14,8 ocorrências.

Para o Estado do Mato Grosso, a variável que têm previsto o número de ocorrências mais próximo do valor real obtido atualmente é a anomalia do IOS-3, seguido do SST Niño 3.4 e precipitação.

Observa-se tendência da anomalia do SST Niño 3.4 em superestimar o valor até o momento, porém, como o período da “Safra” ainda não se findou, é provável que estes valores calculados possam se concretizar.

Todos os modelos desenvolvidos têm apresentado valores de Z(previsão) muito próximos do que está acontecendo hoje na safra 2015/2016.

## QUESTÕES FINAIS

O presente estudo tem confirmado até o momento o que está acontecendo em termos de ocorrência de ferrugem asiática da soja no site do CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM para os três Estados estudados.

Resta saber se até o final da safra estes números permanecerão como estão ou se haverá tendência de aumento. Se isto ocorrer, a variável climática anomalia do SST Niño 3.4 será a que mais estará próxima dos valores reais, uma vez que tanto a Precipitação quanto o IOS-3 já terão atingido os seus valores máximos provavelmente até o final do mês de janeiro.

Os resultados confirmaram a importante influência da chuva sobre a epidemia, porém, a quantidade de inóculo inicial referenciado neste trabalho como as ocorrências verificadas no período “Entressafra”, pode também ter explicado os efeitos positivos sobre as ocorrências do período “Safra” e “Ano Todo”, também para a safra 2015/2016 (CANTERI et al.(2007b); DEL PONTE (2006b) e MINCHIO (2011).

Estas informações indicaram que dependendo do número de ocorrências relatado no site do CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM para o período “Entressafra”, este número influenciou diretamente nas ocorrências durante o período “Safra”, associado às variáveis climáticas, numa relação quadrática, ao nível de 1% de significância.

Evidenciou-se que as ocorrências durante o período “Entressafra”, associado com o acompanhamento da precipitação, dos índices IOS-3 e SST Niño 3.4 possibilitaram prever com maior clareza as ocorrências para o período “Safra” 2015/2016, até o presente momento, nos Estados do Paraná, Rio Grande do Sul e Mato Grosso.

## REFERÊNCIAS

- BRASIL/CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Terceiro Levantamento. Brasília, v2, n.3, p.1-100, 2014.
- BRASIL/CONSORCIO ANTIFERRUGEM. **Consórcio antiferrugem**. Disponível em: <http://www.consorcioantiferrugem.net>, acessado em 10/08/2015.
- BRASIL/INPE Informações sobre produtos de monitoramento climático mensal e sazonal das chuvas no Brasil na página do CPTEC/INPE. CPTEC/INPE. Cachoeira Paulista. 2016. Disponível em: [http://clima1.cptec.inpe.br/~rclima1/pdf/Documento\\_produto\\_indice.pdf](http://clima1.cptec.inpe.br/~rclima1/pdf/Documento_produto_indice.pdf), acessado em 08/01/2016.
- CANTERI, M.G.; CARAMORI, P.; TSUKAHARA, R.; SILVA, O.; FARIA, R.; GODOY, C.V. A system to map risk of infection by *Phakopsora pachyrhizi* for Paraná State, Brazil. **Phytopathology**, v.95, n.6, S16 (Suplemento), junho 2005.
- CANTERI, M.G.; TSUKAHARA, R.Y.; SILVA, O.C. Monitoramento das variáveis ambientais para controle da ferrugem asiática da soja. In: XL Congresso Brasileiro de Fitopatologia, 2007, Maringá. **Fitopatologia Brasileira**. Brasilia : SBF, 2007. v. 32. p. 65-66.
- CAVIGLIONE, J.H. Contribuição pessoal na elaboração de mapas, 2015
- DEL PONTE(a), E.M.; GODOY, C.V.; LI, X.; YANG, X.B. Predicting severity of asian soybean rust epidemics with empirical rainfall models. **Phytopathology**, v.96, n.7, p.797-803, 2006.
- DEL PONTE(b), E.M. Retrospectiva e tendências em modelagem matemática e previsão de ferrugem asiática. **Revista Plantio Direto**, p.21-30, nov/dez 2006
- DEL PONTE, E.M.; ESKER, P.D. Considerações epidemiológicas na avaliação de risco e manejo da ferrugem asiática da soja. In: XL Congresso Brasileiro de Fitopatologia, 2007, Maringá. **Fitopatologia Brasileira**, 2007. v. 32. p. S58-S60.
- EUA/NOAA. National Oceanic Atmospheric Administration. Disponível em <<http://www.cpc.ncep.noaa.gov>>, acessado em 10/08/2015.
- HARTMAN, G.L.; MILES, M.R.; FREDERICK, R.D. Breeding for resistance to soybean rust. **Plant Disease**, v.89, n.6, p.664-666, 2005
- HENNEN, J.F. The taxonomy of the soybean rusts. P.29-32. In: SINCLAIR, J.B.;
- MEGETO, G.A.S.; OLIVEIRA, S.R.M.; DEL PONTE, E.M.; MEIRA, C.A.A. Árvore de decisão par classificação de ocorrências de ferrugem asiática em lavouras comerciais com base em variáveis meteorológicas. Engenharia Agrícola. Jaboticabal, v.34, n.3, p.590-599, 2014.

- MINCHIO, C. A. Determinação da provável origem do inóculo de *Phakopsora pachyrhizi* e interação entre estágio fenológico, favorabilidade ambiental e presença do inóculo para controle da doença. **Dissertação de Mestrado em Agronomia**. Universidade Estadual de Londrina, Londrina, ,2011, 116p.
- PIVONIA, S. YANG, X.B. Assessment of the potential year-round establishment of soybean rust through the world. **Plant Disease**, v. 88, p. 523-529, mai 2004.
- REIS, E.M. **Previsão de doenças de plantas**. Passo Fundo: UPF, 2004. 316p
- REIS, E.M. Critérios baseados em sistemas de aviso: modelo climático. In: Reis, E.M. (Org.) **Critérios indicadores do momento para aplicação de fungicidas visando ao controle de doenças em soja e trigo**. 1ª. Passo Fundo: Aldeia Norte, 2009, pp.103-109.
- REIS, E.M.; CASA, R.T. Análise crítica dos critérios atuais. In: Reis, E.M. (Org.) **Critérios indicadores do momento para aplicação de fungicidas visando ao controle de doenças em soja e trigo**. 1ª. Passo Fundo: Aldeia Norte, 2009, pp.135-147.
- YORINORI, J.T.; PAIVA, W.M.; FREDERICK, R.D.; COSTAMILAN, L.M.; BERTAGNOLLI, P.F. Epidemics of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in Brazil and Paraguay from 2001 to 2003. **Plant Disease**, v.89, n.6, p. 675-677, junho 2005.

## CONCLUSÕES FINAIS

Os resultados confirmaram a importante influência da chuva sobre a epidemia, porém, a quantidade de inóculo inicial referenciado neste trabalho como as ocorrências verificadas no período “Entressafra”, teve efeitos positivos sobre as ocorrências do período “Safra” e “Ano Todo”.

Estas informações indicaram que dependendo do número de ocorrências relatado no site do CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM para o período “Entressafra”, este número influenciou diretamente as ocorrências durante o período “Safra”, associado às variáveis climáticas, numa relação quadrática, ao nível de 1% de significância.

Evidenciou-se que as ocorrências durante o período “Entressafra”, associado com o acompanhamento da precipitação, dos índices IOS-3 e SST Niño 3.4 possibilitaram prever com maior clareza as ocorrências de ferrugem asiática nos Estados do Paraná, Rio Grande do Sul e Mato Grosso.