



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**JOSÉ NILTON DA SILVA**

**DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DO AMARELECIMENTO FATAL EM  
PLANTIO ORGÂNICO E CONVENCIONAL DE PALMA DE ÓLEO**

**BELÉM**

**2015**

**JOSÉ NILTON DA SILVA**

**DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DO AMARELECIMENTO FATAL EM  
PLANTIO ORGÂNICO E CONVENCIONAL DE PALMA DE ÓLEO**

Tese apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia,  
como parte das exigências do Curso de Doutorado em  
Agronomia, para obtenção do título de Doutor.  
Orientador: Prof. Dr. Paulo Roberto Silva Farias  
Co-orientador: Prof. Dr. Anderson Gonçalves da Silva

**BELÉM**

**2015**

Tese  
634.99089/15  
5 586

**JOSÉ NILTON DA SILVA**

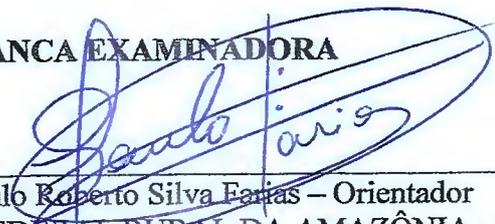
**DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DO AMARELECIMENTO FATAL EM  
PLANTIO ORGÂNICO DE PALMA DE ÓLEO**

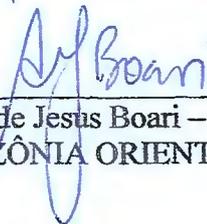
Tese apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do  
Curso de Doutorado em Agronomia: Área de Concentração Agronomia, para obtenção do  
título de Doutor.

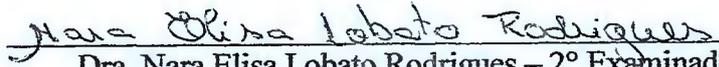
Orientador: Prof. Dr. Paulo Roberto Silva Farias

Aprovado em 11 de setembro de 2015.

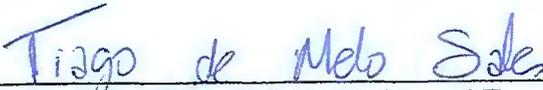
**BANCA EXAMINADORA**

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Paulo Roberto Silva Farias – Orientador  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA - UFRA

  
\_\_\_\_\_  
Dra. Alessandra de Jesus Boari – 1º Examinador  
EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL - EMBRAPA

  
\_\_\_\_\_  
Dra. Nara Elisa Lobato Rodrigues – 2º Examinador  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA - UFRA

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Vicente Savonitti Miranda – 3º Examinador  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA - UFRA

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Tiago de Melo Sales – 4º Examinador  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PARÁ - IFPA

---

Silva, José Nilton da

Distribuição espacial e temporal do amarelecimento fatal em plantio orgânico e convencional de palma de óleo / José Nilton da Silva. - Belém, 2015.

67 f.: il.

Tese (Doutorado em Agronomia / Produção Vegetal em sistemas Agrícolas) – Universidade Federal Rural da Amazônia, 2015.

Orientador: Farias, Paulo Roberto Silva

1. Palma de óleo – Amarelecimento fatal – Patossistema  
2. Distribuição espacial 3. Modelagem geoestatística 4. Krigagem  
5. *Elais guineensis* I Título.

---

CDD – 634.99089115

## SUMÁRIO

RESUMO .....	10
ABSTRACT .....	11
1. CONTEXTUALIZAÇÃO.....	12
1.1. Objetivo geral .....	13
1.2. Objetivos específicos .....	13
REFERÊNCIAS .....	13
CAPÍTULO 1 .....	15
2. DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO AMARELECIMENTO FATAL EM PLANTIO ORGÂNICO DE PALMA DE ÓLEO.....	15
RESUMO .....	15
ABSTRACT .....	15
2.1. Introdução .....	16
2.2. Material e métodos.....	17
2.3. Resultados e discussão.....	20
2.4. Conclusões.....	26
REFERÊNCIAS .....	26
CAPÍTULO 2 .....	28
3. DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO AMARELECIMENTO FATAL EM PLANTIO ORGÂNICO E CONVENCIONAL DE PALMA DE ÓLEO, COM USO DA GEOESTATÍSTICA.....	28
RESUMO .....	28
ABSTRACT .....	28
3.1. Introdução .....	28
3.2. Material e métodos.....	29
3.2.1. Localização da área de estudo e amostragem das plantas doentes .....	29
3.3. Resultados e discussão.....	31
3.5. Conclusões.....	53
REFERÊNCIAS .....	54
CAPÍTULO 3 .....	56
4. PROGRESSÃO TEMPORAL DO AMARELECIMENTO FATAL EM PLANTIO ORGÂNICO E CONVENCIONAL DE PALMA DE ÓLEO.....	56
RESUMO .....	56
ABSTRACT .....	56
4.1. Introdução .....	56
4.2. Material e métodos.....	57
4.3. Resultados e discussão.....	58

4.4. Conclusões.....	62
REFERÊNCIAS.....	62
CONCLUSÕES GERAIS.....	63
GLOSSÁRIO.....	64

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1</b> – Área de estudo.....	17
<b>Figura 2</b> – Distribuição das plantas com AF na parcela H13 (subparcela A á esquerda e subparcela B á direita), ao final do estudo.....	18
<b>Figura 3</b> – Distribuição das plantas com AF na subparcela A (á esquerda) e na subparcela B (á direita).....	21
<b>Figura 4</b> – Localização das parcelas de estudo.....	30
<b>Figura 5</b> – Mapa de ocorrência das parcelas pelo amarelecimento fatal, ao final do período de estudo, município de Acará - PA.....	33
<b>Figura 6</b> – Semivariogramas de AF na parcela H13 (A=Dez/2012, B=Jun/2013, C=Dez/2013, D=Mar/2014), no município do Acará/PA, 2012/14. ....	35
<b>Figura 7</b> – Mapas de Krigagem do Amarelecimento Fatal na parcela H13 (orgânico), no mês de dezembro de 2012, no município de Acará - PA. ....	36
<b>Figura 8</b> – Mapas de Krigagem do Amarelecimento Fatal na parcela H13 (orgânico), no mês de junho de 2013, no município de Acará - PA. ....	37
<b>Figura 9</b> – Mapas de Krigagem do Amarelecimento Fatal na parcela H13 (orgânico), no mês de dezembro de 2013, no município de Acará - PA. ....	38
<b>Figura 10</b> – Mapas de Krigagem do Amarelecimento Fatal na parcela H13 (orgânico), no mês de março de 2014, no município de Acará - PA. ....	39
<b>Figura 11</b> – Semivariogramas de AF na parcela H14 (A=Dez/2013, B=Mar/2014), no município do Acará/PA, 2013/14. ....	40
<b>Figura 12</b> – Mapas do Amarelecimento Fatal na parcela H14 (orgânico), no mês de dezembro de 2013, no município de Acará - PA.....	41
<b>Figura 13</b> – Mapas do Amarelecimento Fatal na parcela H14 (orgânico), no mês de dezembro de 2013, no município de Acará - PA.....	42
<b>Figura 14</b> – Mapas de Krigagem do Amarelecimento Fatal na parcela H14 (orgânico), no mês de dezembro de 2013, no município de Acará - PA. ....	43
<b>Figura 15</b> – Mapas de Krigagem do Amarelecimento Fatal na parcela H14 (orgânico), no mês de março de 2014, no município de Acará - PA. ....	44
<b>Figura 16</b> – Mapa de ocorrência das parcelas J25 e J26 pelo amarelecimento fatal, ao final do período de estudo, município de Acará - PA, 2012/14. ....	46
<b>Figura 17</b> – Semivariogramas de AF na parcela J25 (A=Jun/2013, B=Dez/2013, C=Mar/2014), no município do Acará/PA, 2013/14. ....	46

<b>Figura 18</b> – Mapas de Krigagem do Amarelecimento Fatal na parcela J25 (convencional), no mês de dezembro de 2013, no município de Acará - PA. ....	48
<b>Figura 19</b> – Mapas de Krigagem do Amarelecimento Fatal na parcela J25 (convencional), no mês de março de 2014, no município de Acará - PA. ....	49
<b>Figura 21</b> – Mapas de Krigagem do Amarelecimento Fatal na parcela J26 (convencional), no mês de junho de 2013, no município de Acará - PA. ....	51
<b>Figura 22</b> – Mapas de Krigagem do Amarelecimento Fatal na parcela J26 (convencional), no mês de dezembro de 2013, no município de Acará - PA. ....	52
<b>Figura 23</b> – Mapas de Krigagem do Amarelecimento Fatal na parcela J26 (convencional), no mês de março de 2013, no município de Acará - PA. ....	53
<b>Figura 24</b> – Incidência do amarelecimento fatal (AF) nas parcelas: H13 (a), H14 (b), J25 (c) e J26 (d); Acará/PA, 2012/13. ....	60

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** – Valores de U (número de “runs” observados), E (U) (número de “runs” esperados), S (U) (desvio padrão de U) e Z (U) (U padronizado) para o teste de “ordinary runs”, em plantio de *Elaeis guineensis*, com sintomas de amarelecimento fatal. Acará, Pará/Brasil. 2012/13..... 21
- Tabela 2** – Valores de D (número de “doublets” observados), E (D) (número de “doublets” esperados), S (D) (desvio padrão de D) e Z (D) (D padronizado) para o teste de “doublets”, em plantio de *Elaeis guineensis*, com sintomas de amarelecimento fatal. Acará, Pará/Brasil. 2012/13..... 22
- Tabela 3** – Análise da dinâmica e estrutura de focos (ADEF), avaliados em plantio de *Elaeis guineensis*, com amarelecimento fatal, Subparcela A. Número de plantas doentes (NPD), porcentagem de plantas doentes (%PD), número de focos unitários (NFU), número de focos (NF), número de plantas por focos (NPF), número de plantas doentes na maior linha (lc), número de plantas doentes na maior coluna (lf), índice de forma de focos (IFF) e índice de compactação de focos (ICF). Acará, Pará/Brasil. 2012/13. .... 23
- Tabela 4** – Análise da dinâmica e estrutura de focos (ADEF), avaliados em plantio *Elaeis guineensis*, com amarelecimento fatal, Subparcela B. Número de plantas doentes (NPD), porcentagem de plantas doentes (%PD), número de focos unitários (NFU), número de focos (NF), número de plantas por focos (NPF), número de plantas doentes na maior linha (lc), número de plantas doentes na maior coluna (lf), índice de forma de focos (IFF) e índice de compactação de focos (ICF). Acará, Pará/Brasil. 2012/13. .... 24
- Tabela 5** – Análise da dinâmica e estrutura de focos (ADEF), avaliados em plantio de *Elaeis guineensis*, com amarelecimento fatal, média das subparcelas A e B. porcentagem de plantas doentes (%PD), número de focos unitários (NFU), número de focos (NF), número de plantas por focos (NPF), número de plantas doentes na maior linha (lf), número de plantas doentes na maior coluna (lc), índice de forma de focos (IFF) e índice de compactação de focos (ICF). Acará, Pará/Brasil. 2012/13..... 25
- Tabela 6** – Modelos e parâmetros dos semivariogramas ajustados aos dados de plantas afetadas pelo AF, no município de Acará/PA, nas parcelas de cultivo orgânico. 2012/14. .... 32
- Tabela 7** – Modelos e parâmetros dos semivariogramas ajustados aos dados de plantas afetadas pelo AF, no município de Acará/PA, nas parcelas de cultivo convencional. 2012/14. .... 45
- Tabela 8** – Parâmetros de ajuste da curva de progresso do amarelecimento fatal (AF) em palma de óleo (orgânico), subparcelas, Acará/PA, 2012/13..... 59
- Tabela 9** – Parâmetros de ajuste da curva de progresso do amarelecimento fatal (AF) em palma de óleo (convencional), subparcelas, Acará/PA, 2012/13. .... 59

**Tabela 10** – Resumo da análise de regressão linear para avaliação de quatro modelos de curvas de crescimento do amarelecimento fatal (AF) em palma de óleo em duas parcelas de cultivo orgânico, Acará/PA, 2012/13. .... 61

**Tabela 11** – Resumo da análise de regressão linear para avaliação de quatro modelos de curvas de crescimento do amarelecimento fatal (AF) em palma de óleo em duas parcelas de cultivo convencional, Acará/PA, 2012/13. .... 61

## DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DO AMARELECIMENTO FATAL EM PLANTIO ORGÂNICO E CONVENCIONAL DE PALMA DE ÓLEO

### RESUMO

A palma de óleo é uma importante fonte de óleo vegetal para a indústria mundial. Representa uma das melhores alternativas para reduzir o consumo de combustíveis fósseis e um dos mais importantes insumos para a indústria de alimentos. Na América Latina os plantios de palma de óleo sofrem com a incidência do amarelecimento fatal (AF). O patossistema envolvendo o AF é o principal problema fitossanitário em países como: Colômbia, Brasil e Suriname. No Brasil o principal produtor de palma de óleo é o Estado do Pará. Ao longo dos últimos 41 anos diversas pesquisas foram feitas para identificar a origem do problema, mas sem sucesso. Esta identificação é importante para elaborar estratégias de controle para o AF com base no processo de dispersão. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a distribuição espacial e temporal do amarelecimento fatal em plantio orgânico e convencional de palma de óleo, no município de Acará-PA. O trabalho foi realizado durante o período de 2012-2013, sendo avaliadas quatro parcelas, anotando-se um (1) para a presença de AF nas plantas e zero (0) ausência. As plantas foram georreferenciadas para elaboração de mapas da distribuição de plantas com AF. Os resultados foram analisados através de teste de “ordinary runs”, “doublets” e quadrantes. A análise geoestatística também foi utilizada, bem como a modelagem do processo de dispersão temporal, com ajuste de modelos matemáticos. O estudo evidenciou que o AF ocorre de forma aleatória em 70% das linhas avaliadas. A análise geoestatística indica que o AF possui agregação fraca, sendo o modelo esférico o de melhor ajuste. O raio de alcance foi de 220 metros. A evolução temporal do AF, em três parcelas, ajustou-se ao modelo monomolecular. O estudo contribuiu para o entendimento do processo de dispersão dos casos de AF na fase inicial, em plantio orgânico e convencional.

**Palavras-chave:** *Elaeis guineenses*. Epidemiologia. Patossistema. Semivariograma.

## SPATIAL AND TEMPORAL DISTRIBUTION OF FATAL YELLOWING IN ORGANIC AND CONVENTIONAL PLANTING OIL PALM

### ABSTRACT

The oil palm is a major source of vegetable oil for the industry worldwide. It is one of the best alternatives to reduce consumption of fossil fuels and one of the most important inputs for the food industry. In Latin America, oil palm plantations suffer from the incidence of fatal yellowing (AF). The pathosystem involving AF is the main phytosanitary problem in countries such as Colombia, Brazil and Suriname. In Brazil, the main oil palm producer is the state of Pará. Over the last 41 years several studies have been undertaken to identify the source of the problem but to no avail. There is a need to develop control strategies for AF based on the dispersion process. The objective of this work was to evaluate the spatial and temporal distribution of fatal yellowing in organic cultivation of palm oil in the municipality of Acará-PA. The study was conducted during the period 2012-2013, plants being evaluated in four installments, writing down one (1) for the presence of AF in plants and zero (0) absence. The plants were georeferenced to prepare maps of the distribution of plants with AF. The results were analyzed by the test "ordinary runs", "doublets" and quadrants. Geostatistical analysis was also used as well as the modeling of temporal dispersion process to adjust the mathematical models. The study showed that the AF occurs random in 70% of the evaluated lines. The geostatistics analysis indicates that the AF has weak aggregation, and the spherical model the best fit. The operating range was 220 meters. The temporal evolution of the AF set to monomolecular model. The study contributed to the understanding of the dispersion process cases of AF at baseline in organic and conventional tillage.

**Keywords:** *Elaeis guineensis*. Epidemiology. Pathosystem. Semivariogram.

## 1. CONTEXTUALIZAÇÃO

A palma de óleo (*Elaeis guineensis*, Jacq.), pertencente à família Arecaceae, é uma das mais importantes fontes de óleo vegetal. O Sudeste da Ásia é a zona de maior produção de óleo de palma do mundo. A Indonésia e a Malásia concentram cerca de 90 % da produção mundial de óleo de palma, com aproximadamente seis e quatro milhões de hectares de plantações, respectivamente (ENGLUND et al., 2015).

O Brasil apesar de ser pouco representativo no mercado mundial possui grande potencial para elevar a produção. Dispõe de 28,9 milhões de hectares propícios para o plantio da cultura. Somente no Estado do Pará existe 13,1 milhões de hectares aptos ao plantio de palma de óleo (EMBRAPA, 2010). Apresentando enorme capacidade produtiva e disponibilidade de áreas para expansão do cultivo (CARVALHO; SANTOS, 2013).

Segundo Alves et al. (2013) a atividade figura como uma importante fonte de emprego e renda na Amazônia.

No Pará, o cultivo de palma de óleo iniciou em 1970. Os municípios de Tailândia, Moju e Acará somam cerca de 370.500 ha de plantio de palma de óleo (LEES et al., 2015). Porém, existem riscos decorrentes de problemas com doenças recebendo maior destaque o amarelecimento fatal (AF).

O AF é o problema que mais afeta plantios na América Latina, sendo o maior entreve a ser superado. Tem provocado prejuízos em diversos países. E no Brasil, o maior risco para implantação de novos plantios na Amazônia (BOARI, 2008; BRIOSO et al., 2008).

Até o momento não foi identificada a causa do mal, o que dificultada à obtenção de um plano manejo eficiente, sem o qual as perdas econômicas são cada vez maiores. Identificar o agente causal é o primeiro passo para estabelecer medidas de controle e prevenção em zonas de produção.

A análise da distribuição espacial do AF pode favorecer o entendimento sobre a origem e disseminação, pois cada enfermidade possui características próprias. O organismo causador do mal, conforme os fatores de interação deixam sinais que diferem das demais (BERGAMIN FILHO, 2011).

O estudo da distribuição espacial de plantas afetadas pelo amarelecimento fatal pode contribuir na elucidação da causa do problema. Van de Land e Zadoks (1999) foi pioneiro em estudos sobre distribuição espacial do AF. Na pesquisa realizada no Suriname o pesquisador concluiu que a causa do problema era de origem biótica. Laranjeira et al. (1998), estudou a distribuição espacial de plantas de palma de óleo com sintomas de AF em plantio no Estado do Pará e concluiu que o padrão de dispersão não era compatível com padrões bióticos, pois o

padrão de dispersão e o índice de ocorrência em que ocorre agregação é diferente de qualquer doença conhecida na época do estudo. Sales (2011), estudando o processo de dispersão do AF com uso da Geoestatística, na região nordeste paraense, concluiu que o padrão de dispersão se assemelha a enfermidade de origem biótica.

### 1.1. Objetivo geral

Acompanhar a evolução de casos de amarelecimento fatal em plantio orgânico e convencional de palma de óleo para caracterizar os padrões espacial e temporal em condições de campo, no município de Acará/PA.

### 1.2. Objetivos específicos

- ✓ Estudar a dispersão espacial do AF por meio de arranjos espaciais e da análise da estrutura de focos da doença: técnicas de “ordinary runs”, “doublets” e quadrantes;
- ✓ Identificar o padrão de distribuição do AF em plantio orgânico e convencional, utilizando técnicas Geoestatística;
- ✓ Avaliar o progresso do AF em sistema de cultivo orgânico e convencional de palma de óleo;
- ✓ Ajustar modelos matemáticos (exponencial, monomolecular, logístico e Gompertz) na avaliação temporal de casos de AF.

## REFERÊNCIAS

ALVES, S.A. de O.; AMARAL, W. A. N. do; HORBACH, M.A.; ANTIQUEIRA, L.M.O. R.; BRAGA, L.P.P.; DIAS, I.F. DA S.A. Dendeicultura no Estado do Pará: cenário atual, entraves e perspectivas. **Bioenergia em revista: diálogos**, ano 3, n. 2, p. 18-28, 2013.

BERGAMIN FILHO, A. Curva de progresso da doença. In: , AMORIN, L.; REZENDE, J.A. M.; BERGAMIN FILHO, A. **Manual de Fitopatologia**. Princípios e conceitos. Piracicaba: Editora Ceres. p. 647-666, 2011.

BOARI, A. DE J. **Estudos realizados sobre o Amarelecimento Fatal do Dendezeiro (*Elaeis guineensis* Jacq.) no Brasil**. Embrapa Amazônia Oriental. Serie Documento: ISSN 1517-2201, Belém - PA, 2008.

BRIOSO, P.S.T.; MONTANO, H.G.; TRINDADE, D.R.; POLTRONIERI, L.S.; FURLAN JÚNIOR, J. **Etiologia do amarelecimento fatal do dendezeiro**. Pragas e doenças de cultivos amazônicos. 2 ed. Brasília (DF): Embrapa Informação Tecnológica, v. 1, p. 325-350, 2008.

CARVALHO, E.A.; SANTOS, T.P.F. **Doenças da palma de óleo no contexto da expansão do cultivo no Estado do Pará.** Belém: Embrapa Amazônia Oriental, Documentos, n. 389. 19 p. 2013.

EMBRAPA. **Zoneamento agroecológico do dendezeiro para as áreas desmatadas da Amazônia Legal.** Relatório Síntese. Rio de Janeiro, 44 p. 2010.

ENGLUND, O.; BERNDES, G. PERSSON, U.M.; SPAROVEK, G. Oil palm for biodiesel in Brazil-risks and opportunities. **Environmental Research Letters**, v. 10, n. 4, p. 044002, 2015.

LARANJEIRA, F.F.; BERGAMIN FILHO, A.; AMORIM L.; BERGER, R.D.; HAU, B. Análise espacial do amarelecimento fatal do dendezeiro como ferramenta para elucidar sua etiologia. **Fitopatologia Brasileira**, v. 23, n.3, p. 397-403, 1998.

LEES, A.C.; MOURA, N.G.; ALMEIDA, A. S.; VIEIRA, I.C.G. Poor prospects for avian biodiversity in amazonian oil palm. **PloSone**, v. 10, n. 5, p. e0122432, 2015.

SALES, T. de M. **Análise geoestatística da distribuição espacial do amarelecimento fatal do dendezeiro no Nordeste Paraense.** Belém, 2011. 32 f.:il. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, PA, 2011.

VAN DE LANDE, H.L.; ZADOKS, J.C. Spatial patterns of spear rot in oil palm plantations in Suriname. **Plant Pathology**, v.48, n.2, p.189-201, 1999.

## CAPÍTULO 1

### 2. DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO AMARELECIMENTO FATAL EM PLANTIO ORGÂNICO DE PALMA DE ÓLEO

#### RESUMO

O trabalho teve por objetivo estudar a dispersão do amarelecimento fatal (AF) em plantio de palma de óleo no município de Acará, Estado do Pará, Brasil. Os dados da incidência de AF foram coletados em inspeções mensais, durante vinte e quatro meses (2012 a 2013) em duas subparcelas, com dezesseis quadrantes cada. Foram avaliadas 138 plantas em cada quadrante. Em vinte linhas de plantio foram contados o número de plantas com AF e feita análise do arranjo espacial. As técnicas de análise espacial utilizadas foram: a sequências ordinárias de "runs", "doublets" e quadrantes. Também foram determinados índices de agregação do AF nas subparcelas. Plantas com AF apresentaram distribuição espacial agregada em número menor de linha quando utilizado a metodologia de análise de "runs" que comparando com a metodologia de "doublets". Verificou-se que em 70% das linhas avaliadas não houve agregação de casos de AF. A análise de quadrantes evidenciou a existência de agregação de casos, com distribuição vertical e horizontal.

**Palavras-chaves:** Amarelecimento fatal. Dispersão. *Elaeis guineensis*. Epidemiologia.

#### SPATIAL DISTRIBUTION FATAL YELLOWING IN PLANTING ORGANIC OIL PALM

#### ABSTRACT

The work aimed to study the dispersion of cases of fatal yellowing (AF) in oil palm cultivation in the district of Acará, Pará State, Brazil. The data in the incidence of AF were collected in monthly inspections, for twenty-four months (2012-2013) in two sub block, each with sixteen quarters. 138 plants were assessed in each quadrant. In twenty planting lines were counted the number of diseased plants and made analysis of the spatial pattern of the disease. The spatial analysis techniques were used: the common sequences of "runs", "doublets" and quadrants. We also determined levels of aggregation of the disease in sub-areas. Plants with AF showed spatial distribution fewer aggregate line when using the analysis method for "runs" when used in the method "doublets" It was found that 30% of the lines was

assessed aggregation cases AF. A quadrant analysis showed the existence of aggregation of cases, with vertical and horizontal spread.

**Key words:** Plant disease. Dispersion. *Elaeis guineensis*. Epidemiology

## 2.1. Introdução

A espécie *Elaeis guineensis* (Jacq.), família Arecaceae, é uma oleaginosa com grande potencial para a produção de óleo, se destacando pela importância econômica e social em vários países. Possui maior produtividade de óleo (palma e palmiste) quando comparada a outras culturas, com vida útil de pelo menos 25 anos. Segundo Monteiro et al. (2014), entre as oleaginosas existentes a palma de óleo ocupa o primeiro lugar em produção no mundo, com valor acima de 56 milhões de toneladas anuais.

O mercado mundial de óleo de palma é liderado pela Indonésia com produção atual de 35,5 milhões de toneladas (USDA, 2015). No cenário mundial o Brasil contribui com apenas 0,6% da produção (VENTURIERI, 2011). Por outro lado, no Brasil existe mais de 28,9 milhões de hectares propícios para o plantio de palma, a maior parte das áreas estão localizadas na Região Norte (ALVES et al., 2013). O Pará possui condições para aumentar consideravelmente a área de cultivo de palma de óleo, pois dispõe de 13,1 milhões de hectares aptos ao plantio de palma (EMBRAPA, 2010).

Apesar da grande potencialidade para novos plantios, alguns fatores podem limitar a expansão dos plantios da palma de óleo no Brasil, dentre eles, as doenças se destacam como ameaça primária ao cultivo da cultura (CARVALHO; SANTOS, 2013).

O amarelecimento fatal (AF) é uma doença de grande letalidade para *E. guineensis*. A maior incidência do AF é na Amazônia equatorial (Brasil, Colômbia, Equador e Suriname). AF é responsável por dizimar grandes áreas de plantio em vários países da América Latina. e em vários países é conhecido como Oil Palm Bud Rot, na Colômbia por Prudrición de Cogollo (PC) e Flecha Seca na Costa Rica. A ocorrência do AF põe em risco o desenvolvimento de novos plantios na Amazônia (BOARI, 2008), provoca muitos prejuízos, sendo o maior entrave ao desenvolvimento da atividade produtiva e um risco ao desenvolvimento de novos plantios na Amazônia (BOARI, 2012).

Segundo Drenth et al. (2013), plantas afetadas pelo AF apresentam ligeiro amarelecimento dos folíolos basais das folhas intermediárias (3, 4, 5 e 6) e, mais tarde, aparecimento de necroses nas extremidades dos folíolos que evoluem para a seca total dessas folhas.

A expressão do AF e o desenvolvimento de sintomas podem seguir diferentes etapas, dependendo das condições ambientais espaciais e temporais da plantação (DRENTH et al., 2013). Um dos primeiros passos para o controle eficiente do AF é conhecer o processo de dispersão. De acordo com Sparks et al. (2008), o padrão espacial constitui uma ferramenta importante para entender a dinâmica da epidemia, sendo fundamental para elaborar estratégias de controle.

A análise da distribuição espacial do AF pode favorecer o entendimento sobre a sua origem e disseminação, pois cada enfermidade possui características próprias (BERGAMIN FILHO et al., 2007). Desta forma, o padrão de distribuição do AF em áreas de cultivo pode contribuir na identificação do agente etiológico. Assim, objetivou-se com este trabalho estudar o arranjo e a distribuição espacial do AF em área de plantio orgânico de *Elaeis guineensis* no município de Acará, Estado do Pará, Brasil.

## 2.2. Material e métodos

As informações utilizadas na pesquisa foram coletadas entre os anos de 2012 e 2013 em duas subparcelas (A e B) da parcela H13 da fazenda pertencente à Companhia Palmares da Amazônia (CPA), município de Acará, no Estado do Pará, Brasil (Figura 1). O tamanho total da área é 36,49 hectares e possui coordenada geográfica central (02° 16' 27" S; 48° 37' 29" W) e altitude de 18 m.

Figura 1 – Área de estudo



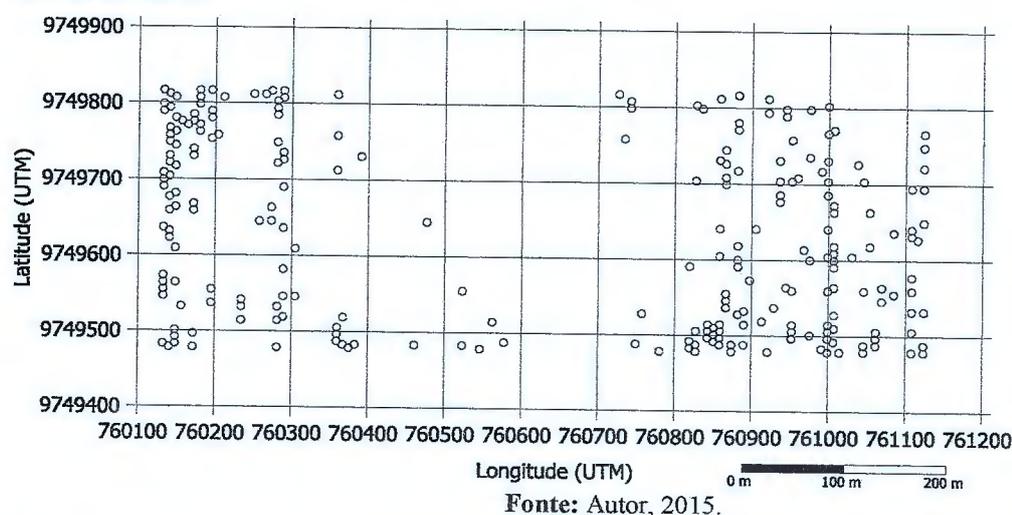
Fonte: Google Earth, 2015.

O clima é do tipo Ami, segundo a classificação de Köppen, com maiores precipitações nos meses de janeiro a maio e menores de agosto a novembro. A temperatura média anual é de aproximadamente 26 °C e a umidade relativa do ar de 80%. Solo altamente intemperizado com predomínio de Latossolo (EMBRAPA, 2006).

A palma de óleo foi cultivada de forma compatível com o padrão orgânico de produção (FONSECA et al., 2009). Na parcela estudada existe uma diversidade de material genético (Lame, Lame x Deli e Ghana), sendo cultivado com espaçamento de 9 m entre plantas (triângulo equilátero). A escolha da propriedade foi em função da existência de casos do AF na fase inicial. A idade do plantio é de 19 anos. No referido local foram observadas duas subparcela (A e B). As informações sobre a ocorrência do AF foram coletadas mensalmente durante 24 meses (2012 a 2013), observando cada planta em busca dos sintomas típicos do AF. A presença ou ausência de sintomas e a posição relativa de cada planta foram anotadas e serviram para montar um mapa das plantas com AF, em cada subparcela.

Na Figura 2 observa-se a distribuição das plantas com sintomas de AF na subparcela A (à esquerda) e na subparcela B (à direita) da parcela H13.

**Figura 2** – Distribuição das plantas com AF na parcela H13 (subparcela A à esquerda e subparcela B à direita), ao final do estudo.



Foram sorteadas vinte fileiras dentre cinquenta em cada subparcela para contar o número de plantas com sintomas de AF e o número total de plantas. Durante o tempo de estudo os casos foram incluídos de forma acumulativa, considerando que uma planta permanecerá com AF nas avaliações posteriores. No final do estudo foi feito a contagem total de plantas com AF por linha para definir o padrão de dispersão na área.

Para determinar o padrão de distribuição de plantas com AF, foram aplicados os testes de “*ordinary runs*” e de “*doublets*” conforme Ferreira et al. (2009) e Carvalho (2013). Na análise “*ordinary runs*” foi examinada a existência de agregação entre plantas doentes imediatamente adjacentes dentro das linhas. Um “run” ( $R$ ) é descrito como a sucessão de uma ou mais plantas doentes. O número esperado de “runs”  $E(R)$  sob a hipótese nula de

aleatoriedade é dado por  $E(U) = 1 + [2m(N-m)/N]$ , onde  $m$  é o número de plantas com AF e  $N$  é o número total de plantas por linha. O desvio padrão de  $R$ , sob a hipótese de nulidade, é dado por  $S(U) = \{2m(N-m)[2m(N-m)-N]/[N^2(N-1)]\}^{1/2}$ .

Um teste normal padrão  $Z$ , onde  $Z(U) = [U - E(U)]/S(U)$ , foi utilizado para determinar a significância da agregação de plantas com AF, sendo que valores de  $Z(U) < 1,64$  ( $P=0,05$ ) indicam rejeição à hipótese de nulidade (arranjo aleatório), em favor da hipótese alternativa (arranjo agregado). Em que:  $U$ : número de run;  $m$ : número de plantas doentes;  $N$ : número de plantas na linha;  $S(U)$ : desvio padrão.

Para o teste de “doublets” considerou-se que um “doublet” é formado por duas plantas com AF adjacentes. Ainda de acordo com esse critério, três plantas com AF adjacentes são iguais a dois “doublets” e assim por diante. O número de fileiras em cada bloco, o número de plantas com AF e o número total de plantas foi similar ao descrito no teste de “ordinary runs”. Neste caso, o número de “doublets” esperado é dado por:  $E(D) = m(m-1)/N$ , onde  $D$  é o número de “doublets”,  $m$  é o número de plantas com sintomas de AF e  $N$  o número total de plantas. O desvio padrão de  $D$  é dada por:  $S(D) = \{[m(m-1)[N(N-1) + (2N(m-2) + N(m-2)(m-3) - (N-1)m(m-1)]/N^2(N-1)]\}^{1/2}$ . Calculou-se o valor estandardizado de  $Z(D) = [(D + 0,5 - E(D))/S(D)]$ , com base na distribuição normal, considera-se  $ZD > 1,64$  ( $P=0,05$ ), define-se com padrão agregado e, quando  $ZD < 1,64$  ( $P=0,05$ ) padrão acaso. Em que:  $D$ : número de doublet;  $m$ : número de plantas com AF;  $N$ : número de plantas na linha;  $S(D)$ : desvio padrão.

Com base no mapa da distribuição espacial do AF foi definido uma grade com dezesseis quadrantes em cada subparcelas, cada quadrante com 138 plantas. Foi calculado o índice de dispersão (ID), que é a relação entre (Variância ( $s^2$ )/Média ( $x$ )). Quando ( $ID < 1$ ), indica padrão espacial regular, ( $ID = 1$ ), aleatório e ( $ID > 1$ ), agregado.

Para estabelecer o padrão de distribuição espacial das plantas com amarelecimento fatal foi utilizado também o Índice de Morisita, no qual valores menores que 1,0 indicam uma distribuição uniforme, valores iguais a 1,0 indicam distribuição aleatória e valores maiores que 1,0 indicam distribuição agregada. Optou-se pela utilização do índice para análise da distribuição espacial pelo fato de o tamanho da área amostral não influenciar e categorizar melhor a dispersão das plantas com AF na área. O cálculo do Índice de Morisita foi realizado com base na fórmula:  $Id = n * [\sum x^2 - N] / [N * (N - 1)]$

Onde:  $Id$ : índice de Morisita;  $n$ : número total de parcelas amostradas;  $N$ : número total de plantas avaliadas, contidos em  $n$  parcelas;  $x^2$ : quadrado do número dos indivíduos por parcela. Para verificar a significância do Índice de Morisita, foi usado o teste qui-quadrado ( $P=0,05$ ), de acordo com a fórmula a seguir:  $\chi^2 = n * \sum x^2 / (N - N)$ .

Onde:  $\chi^2$ : valor do qui-quadrado;  $N$ ,  $x^2$  e  $n$ : já definidos anteriormente; Neste método, para a interpretação do valor de qui-quadrado será baseado no seguinte critério: o padrão de distribuição espacial aleatória será quando o valor calculado for menor que o valor figurado, isto é, o  $I_d$  não difere significativamente de 1; entretanto, apresentará um padrão de distribuição agregado quando o valor calculado do qui-quadrado for maior que o valor figurado e se apresentar  $I_d > 1$  ou  $I_d < 1$ , é considerado uniforme (MORISITA,1962).

Com base no mapa da distribuição espacial de plantas com AF foram realizados cálculos da análise de estrutura de focos (ADEF). Foi considerado como foco aquelas plantas com sintomas imediatamente adjacentes no padrão de proximidade vertical ou horizontal. Foram avaliados os números de focos unitários (NFU), compreendendo aquele composto por uma planta afetada; estimou-se o número de focos (NF) na área; avaliou-se o número de plantas por focos (NPF); o índice de forma de focos (IFF); o índice de compactação de focos (ICF). Para cada foco designado, quantificou-se o número máximo de linhas ( $I_f$ ) e colunas ( $I_c$ ) ocupadas, sendo utilizados nos cálculos do  $IFF = [(I_f/I_c)]$  e o  $ICF = [(I_f * I_c)/NPF]$ .

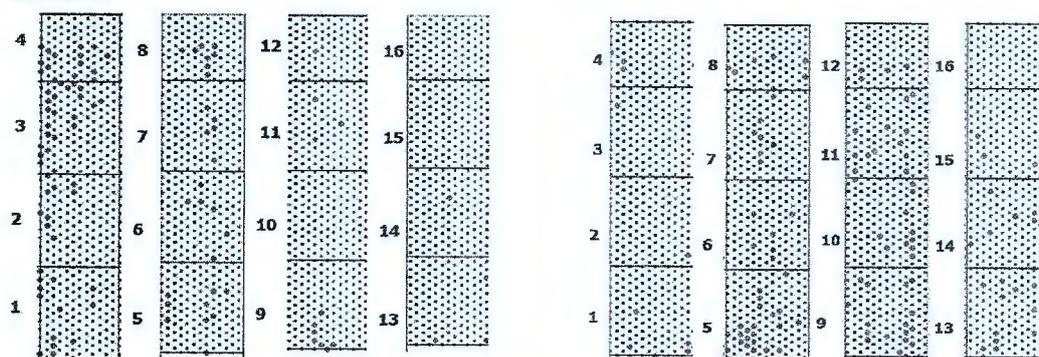
Todas essas análises foram realizadas utilizando o software Microsoft Office Excel® 2010.

### 2.3. Resultados e discussão

Em abril de 2012 foram identificadas as primeiras plantas com sintomas de AF na área estudada. Dos onze casos identificados inicialmente cinco ocorreram à margem do ramal de acesso e próximos; os demais ocorreram no centro da área e de forma dispersa. O mês de maior ocorrência de AF foi o de outubro com 58% e 41% do total de casos, em 2012 e 2013, respectivamente (Figura 3). A doença ocorre cerca de seis meses antes de apresentar a morte da folha flecha.

O mapeamento da incidência de AF, ao final do estudo, forneceu uma visualização da situação presente na parcela H13 (Figura 3). Ocorreu agregação de plantas doentes em seis das vinte fileiras sorteadas.

**Figura 3** – Distribuição das plantas com AF na subparcela A (à esquerda) e na subparcela B (à direita), ao final do estudo.



Fonte: Autor, 2015.

Verificou-se, tanto pelo teste de “runs” (Tabela 1) quanto pelo teste de “doublets” (Tabela 2), que nas vinte linhas avaliadas as plantas doentes encontram-se distribuídas ao acaso, no início e posteriormente ocorre a agregação.

**Tabela 1** – Valores de U (número de “runs” observados), E (U) (número de “runs” esperados), S (U) (desvio padrão de U) e Z (U) (U padronizado) para o teste de “ordinary runs”, em plantio de *Elaeis guineensis*, com sintomas de amarelecimento fatal, ao final do estudo. Acará, Pará/Brasil. 2012/13.

Linha	U	E(U)	S(U)	Z(U)	Distribuição
1	11	17,42	6,84	-2,26	Agregado
2	17	18,11	7,45	-0,22	Aleatório
3	20	17,42	6,84	1,18	Aleatório
4	5	4,79	0,29	1,33	Aleatório
5	3	2,95	0,05	2,47	Aleatório
6	8	11,11	2,49	-1,65	Agregado
7	4	4,79	0,29	-0,54	Aleatório
8	2	2,95	0,05	-2,00	Agregado
9	2	2,95	0,05	-2,00	Agregado
10	3	2,95	0,05	2,47	Aleatório
11	1	1,00	0,00	*	*
12	4	6,53	0,68	-2,46	Agregado
13	8	9,68	1,80	-0,88	Aleatório
14	3	2,95	0,05	2,47	Aleatório
15	3	6,53	0,68	-3,68	Agregado
16	3	2,95	0,05	2,47	Aleatório
17	7	8,16	1,19	-0,60	Aleatório
18	5	6,53	0,68	-1,25	Aleatório
19	9	11,11	2,49	-1,02	Aleatório
20	3	2,95	0,05	2,47	Aleatório

\* sem plantas com AF

Fonte: Autor, 2015.

Em seis linhas do total de vinte que foram sorteadas, os casos ocorreram de forma agregada com significância ( $P = 0,05$ ) para o teste de “*ordinary runs*”, enquanto que em sete linhas apresentaram resultados significativos quando se utilizou o teste de “*doublets*” (Tabela 1 e 2). De acordo com Bergamin Filho et al. (2007), a existência de poucos “*runs*” tende a definir arranjos agregados.

Na análise de “*doublets*” foi constatada maior ocorrência de agregação que no estudo de “*runs*”. Em sete linhas o arranjo espacial agregado ( $Z(D) > 1,64$ ;  $P=0,05$ ) foi encontrado na avaliação final (Tabela 1 e 2). São necessárias duas plantas com AF e adjacentes para que seja identificado um “*doublets*”.

**Tabela 2** – Valores de D (número de “*doublets*” observados), E (D) (número de “*doublets*” esperados), S (D) (desvio padrão de D) e Z (D) (D padronizado) para o teste de “*doublets*”, em plantio de *Elaeis guineensis*, com sintomas de amarelecimento fatal, ao final do estudo. Acará, Pará/Brasil. 2012/13.

Linha	D	E(D)	S(D)	Z(D)	Distribuição
1	6	3,47	1,73	2,30	Agregado
2	4	4,11	1,90	0,29	Aleatório
3	2	3,47	1,73	-0,74	Aleatório
4	0	0,05	0,05	*	*
5	0	0,00	0,00	*	*
6	2	0,79	0,59	2,22	Agregado
7	0	0,05	0,05	*	*
8	0	0,00	0,00	*	*
9	0	0,00	0,00	*	*
10	1	0,00	0,00	*	*
11	0	0,00	0,00	*	*
12	1	0,16	0,14	3,57	Agregado
13	1	0,53	0,42	1,50	Aleatório
14	1	0,00	0,00	*	*
15	2	0,16	0,14	6,23	Agregado
16	0	0,00	0,00	*	*
17	1	0,32	0,27	2,29	Agregado
18	1	0,16	0,14	3,57	Agregado
19	2	0,79	0,59	2,22	Agregado
20	0	0,00	0,00	*	*

\*sem plantas com AF

Fonte: Autor, 2015.

No estudo com quadrantes o índice de dispersão (ID) para as duas subparcelas avaliadas (138 plantas agrupadas em dezesseis quadrantes cada) foi de 6,19 (média 6,44; variância 39,86) e 5,4 (média 8,25; variância 44,6) para a subparcela A e subparcela B, respectivamente. O índice de Morisita foi 1,76 e 1,5 para a subparcela A e subparcela B, respectivamente, sendo significativo ao nível de 0,05 de probabilidade pelo teste de qui-quadrado. Valor de  $ID < 1$  indica padrão espacial regular;  $ID = 1$  aleatório e  $ID > 1$  agregado. Nas duas subparcelas o valor de  $ID > 1$  foi obtido, evidenciando o padrão espacial agregado. O índice de dispersão (ID) foi satisfatório para a descrição do padrão espacial do AF.

Na análise da dinâmica de estrutura de foco foi convencionado o eixo horizontal para determinar linhas, e eixo vertical para determinar as colunas.

Foram mapeadas 2.208 plantas em cada uma das duas subparcelas; uma delas com 104 plantas doentes e a outra com 134. No início houve predominância de focos unitários ou com duas plantas nas linhas de plantios, houve agregação até cinco plantas por linha (Tabela 3 e 4).

**Tabela 3** – Análise da dinâmica e estrutura de focos (ADEF), avaliados em plantio de *Elaeis guineensis*, com amarelecimento fatal, Subparcela A. Número de plantas doentes (NPD), porcentagem de plantas doentes (%PD), número de focos unitários (NFU), número de focos (NF), número de plantas por focos (NPF), número de plantas doentes na maior linha (lc), número de plantas doentes na maior coluna (lf), índice de forma de focos (IFF) e índice de compactação de focos (ICF). Acará, Pará/Brasil. 2012/13.

Quadrante	NPD	%PD	NFU	NF	NPF	lc	lf	IFF	ICF
1	15	0,11	5	7	5	2	4	2,00	1,60
2	9	0,07	0	4	4	2	2	1,00	1,00
3	23	0,17	0	6	7	2	3	1,50	0,86
4	14	0,10	1	6	3	2	3	1,50	2,00
5	9	0,07	2	5	3	2	2	1,00	1,33
6	6	0,04	4	5	2	2	1	0,50	1,00
7	5	0,04	1	2	2	1	2	2,00	1,00
8	8	0,06	0	2	5	2	3	1,50	1,20
9	7	0,05	0	1	7	2	3	1,50	0,86
10	0	0,00	0	0	0	0	0	0,00	0,00
11	3	0,02	3	3	1	1	1	1,00	1,00
12	1	0,01	0	1	1	1	1	1,00	1,00
13	3	0,02	3	3	1	1	1	1,00	1,00
14	1	0,01	1	1	1	1	1	1,00	1,00
15	0	0,00	0	0	0	0	0	0,00	0,00
16	0	0,00	0	0	0	0	0	0,00	0,00

IFF = 1,0 indicam focos isodiamétricos;  $IFF > 1,0$  indicam focos com maior comprimento na direção entre as linhas;  $IFF < 1,0$  indicam focos com maior comprimento na direção da linha.

Fonte: Autor, 2015.

**Tabela 4** – Análise da dinâmica e estrutura de focos (ADEF), avaliados em plantio *Elaeis guineensis*, com amarelecimento fatal, Subparcela B. Número de plantas doentes (NPD), porcentagem de plantas doentes (%PD), número de focos unitários (NFU), número de focos (NF), número de plantas por focos (NPF), número de plantas doentes na maior linha (lc), número de plantas doentes na maior coluna (lf), índice de forma de focos (IFF) e índice de compactação de focos (ICF). Acará, Pará/Brasil. 2012/13.

Quadrante	NPD	%PD	NFU	NF	NPF	lc	lf	IFF	ICF
1	5	0,04	3	4	2	1	2	2,00	1,00
2	1	0,01	1	1	1	1	1	1,00	1,00
3	1	0,01	1	1	1	1	1	1,00	1,00
4	3	0,02	1	2	2	1	2	2,00	1,00
5	24	0,17	4	10	9	2	4	2,00	0,89
6	6	0,04	4	5	2	1	2	2,00	1,00
7	7	0,05	3	6	2	1	2	2,00	1,00
8	7	0,05	4	5	2	1	1	1,00	0,50
9	19	0,14	3	7	5	2	3	1,50	1,20
10	11	0,08	2	5	5	2	4	2,00	1,60
11	13	0,09	4	8	3	2	1	0,50	0,67
12	4	0,03	2	3	2	1	1	1,00	0,50
13	19	0,14	8	10	3	2	3	1,50	2,00
14	8	0,06	5	6	3	1	2	2,00	0,67
15	7	0,05	4	5	2	2	1	0,50	1,00
16	0	0,00	0	0	0	0	0	0,00	0,00

IFF = 1,0 indicam focos isodiamétricos; IFF>1,0 indicam focos com maior comprimento na direção entre as linhas; IFF<1,0 indicam focos com maior comprimento na direção da linha.

Fonte: Autor, 2015.

Observou-se a existência de foco unitário que diminuía com o avanço dos casos de AF, num total de 69 focos distribuídos nas duas subparcelas, aleatoriamente.

Foram considerados como foco plantas com sintoma de AF imediatamente adjacente em padrão de proximidade vertical, horizontal ou diagonal. Tais critérios são adotados por diversos pesquisadores, nos mais diferentes patossistemas (FERREIRA et al., 2009).

O arranjo do AF em pequenos focos pode indicar um tempo insuficiente para infecções subsequentes e maiores. Tumura et al. (2012) observou que a murcha de *Ceratocystis* em eucalipto obteve IFF<1, ocorrendo maior distribuição na linha de plantio, resultado diferentes dos obtidos neste estudo.

Valor de ICF próximos de um indica focos mais compactos, isto é, maior agregação e proximidade entre todas as plantas pertencentes ao foco. Em 43% dos quadrantes avaliados foi constada a existência de focos compactos.

A maior ocorrência de focos unitários no início da doença também ocorreu em epidemias de murcha de *Ceratocystis* em eucalipto (TUMURA et al., 2012). Em citros talhões

com até 2% de plantas com sintomas de morte súbita apresentaram 85% dos focos com uma única planta (JESUS JÚNIOR; BASSANEZI, 2004).

Estudo feito com a murcha de *Ceratocystis* em clones de eucalipto evidenciou número menor de focos unitários no povoamento de menor incidência (TUMURA et al., 2012),

Foi computado o número de focos unitários por linha de plantio, observando, no máximo, oito focos unitários por linha, com média variando entre 2.88 e 4.88 focos por linha de plantio (Tabela 5).

A maioria dos focos possui mais de uma planta, o mesmo foi observado em trabalho de Jesus Júnior e Bassanezi (2004), que verificaram o aumento do número de casos sem aumento do número de focos, evidenciando agregação. Van de Lande (1993) relata que agregação significativa para o AF em Victoria, Suriname, para incidência de 0,7% ( $P < 0,05$ ). Em outros blocos, incidências de 1,5%, 8,3% e 9,3% também foram suficientes para que agregação significativa fosse detectada.

Com relação ao crescimento dos focos, os mapas de áreas mostram progressão radial. Nas subparcelas o maior número de caso ocorre nas linhas de plantio (lf), resultado semelhante aos obtidos por Carvalho (2013).

**Tabela 5** – Análise da dinâmica e estrutura de focos (ADEF), avaliados em plantio de *Elaeis guineensis*, com amarelecimento fatal, média das subparcelas A e B. porcentagem de plantas doentes (%PD), número de focos unitários (NFU), número de focos (NF), número de plantas por focos (NPF), número de plantas doentes na maior linha (lf), número de plantas doentes na maior coluna (lc), índice de forma de focos (IFF) e índice de compactação de focos (ICF). Acará, Pará/Brasil. 2012/13.

Média	%PD	NFU	NF	NPF	lc	lf	IFF	ICF
A	0,05	1,25	2,88	2,63	1,31	1,69	1,03	0,93
B	0,06	3,06	4,88	2,75	1,31	1,88	1,38	0,94

IFF = 1,0 indicam focos isodiamétricos; IFF > 1,0 indicam focos com maior comprimento na direção entre as linhas; IFF < 1,0 indicam focos com maior comprimento na direção da linha.

Fonte: Autor, 2015.

Quando existe relação inversa entre NFU e NPF, associado ao aumento da incidência é uma evidência de que, após o estabelecimento da doença, a transmissão entre plantas mais próximas existe, o que é uma característica de doenças de origem biótica, onde as plantas doentes influenciam a condição das plantas imediatamente adjacentes (CYSNE, 2009). Jesus Júnior e Bassanezi (2004), ao estudarem a morte súbita dos citros observaram fato semelhante aos relatados no presente estudo.

## 2.4. Conclusões

1. Em 70% das linhas analisadas os casos de AF ocorreram de forma aleatória;
2. Plantas com AF apresentaram distribuição espacial agregada em número menor de linha quando utilizando a metodologia de análise de “runs” que quando utilizada a metodologia de “doublets”;
3. A análise de quadrantes evidenciou a existência de agregação de casos, com distribuição maior no sentido das linhas de plantio.

## REFERÊNCIAS

ALVES, S.A. de O.; AMARAL, W.A.N. do; HORBACH, M.A.; ANTIQUEIRA, L.M.O.R.; BRAGA, L.P.P.; DIAS, I.F. da S.A. Dendeicultura no Estado do Pará: cenário atual, entraves e perspectivas. **Bioenergia em revista: diálogos**, ano 3, n. 2, p. 18-28, jul./dez. 2013.

BERGAMIN FILHO, A.; HAU, B.; AMORIM, L.; LARANJEIRA, F.F. Análise espacial e temporal de epidemias de patógenos de solo. In: POLTRONIERI, L. S.; VERZIGNASSI, J. R. **Fitossanidade na Amazônia: inovações tecnológicas**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, p. 17-36. 2007.

BOARI, A. DE J. **Estudos realizados sobre o Amarelecimento Fatal do Dendzeiro (*Elaeis guineensis* Jacq.) no Brasil**. Embrapa Amazônia Oriental. Serie Documento: ISSN 1517-2201, Belém - PA, 2008.

BOARI, A. DE J.; TEIXEIRA, W. G.; VENTURIERI, A.; MARTORANO, L.; TREMACOLDI, C. R.; CARVALHO, K. B. **Avanços nos estudos sobre o amarelecimento fatal da palma de óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.)**. In: Tropical PlantPathology37 (Suplemento), agosto 2012 45º Congresso Brasileiro de Fitopatologia - Manaus, AM Copyright the Brazilian Phytopathological Society. Disponível em: <<http://www.sbfito.com.br>> Acesso em: 12 out. 2014.

CARVALHO, R. Spatial and temporal analysis of stem bleeding disease in coconut palm in the state of Sergipe, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 85, n. 4, p. 1567-1576, 2013.

CARVALHO, E. de A.; SANTOS, T. DE P.F. dos. **Doenças da palma de óleo no contexto da expansão do cultivo no Estado do Pará**. Belém-PA: Embrapa Amazônia Oriental, 19 p. 2013.

CYSNE, A.Q. **Epidemiologia comparativa da resinose (*Lasiodiplodiatheobromae*) do cajueiro em pomares comerciais no semi-árido nordestino**. 2009. 69p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. CE. 2009.

DRENTH, A.; TORRES, G.A.; MARTÍNEZ LÓPEZ, G. *Phytophthora palmivora*, la causa de la Pudrición del cogollo en la palma de aceite. **Revista Palmas**, v. 34, p. 87-94, 2013.

EMBRAPA. **Zoneamento agroecológico do dendzeiro para as áreas desmatadas da Amazônia Legal**. Relatório Síntese. Rio de Janeiro, 2010. 44 p. Disponível em:

[www.cnps.embrapa.br/zonamento\\_dende/ZonDende.pdf](http://www.cnps.embrapa.br/zonamento_dende/ZonDende.pdf). Acesso em 29/08/2014>Acesso em 05 Jan 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 306p. 2006.

FERREIRA, J.B.; ABREU, M. S. DE; PEREIRA, I. S. Analysis of the dynamics, foci structure and spatial arrangement of the blister spot in the field. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, n. 1, p. 24-30, 2009.

FONSECA, M.F.; BARBOSA, S.C.; COLNAGO, N.F.; DA SILVA, G.R. **Agricultura orgânica**. introdução às normas, regulamentos técnicos e critérios para acesso aos mercados dos produtos orgânicos no Brasil. 2009.

JESUS JUNIOR, W.C. de; BASSANEZI, R.B. Análise da dinâmica e estrutura de focos da morte súbita dos citros. **Fitopatologia Brasileira**, v. 29, p. 4, 2004.

MONTEIRO, K.F.G. et al. Diferentes sistemas de produção com Palma de Óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.) e a participação do Brasil no cenário internacional. **Observatório de la Economía Latino americana**, n. 200, 2014.

MORISITA, M. Id-inexd, a measure of dispersion of individuals. **Researches on population ecology**. V. 4, p. 1-7, 1962.

SALES, T. DE M. **Análise geoestatística da distribuição espacial do amarelecimento fatal do dendezeiro no Nordeste Paraense**. Belém, 2011. 32 f.:il. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, PA, 2011.

SPARKS, A.H.; ESKER, P.D.; ANTONY, G.; CAMPBELL, L.; FRANK, E.E.; HUEBEL, L.; ROUSE, M.N.; VAN ALLEN, B.; GARRETT, K.A. Ecology and Epidemiology in R: Spatial Analysis. **The Plant Health Instructor**. DOI:10.1094/PHI-A-2008-0129-03.2008.

TUMURA, K.G.; DE PIERI, C.; FURTADO, E. L. Murcha por *Ceratocystis* em eucalipto: avaliação de resistência e análise epidemiológica. **Summa Phytopathologi**, Botucatu, v. 38, n. 1, p. 54-60, 2012.

USDA, UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Oil seeds world markets and trade**. Disponível em: <[http:// gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN](http://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN)> Acesso em: 05 Jan. 2015.

VAN DE LANDE, H.L. Spatio-temporal analysis of spear rot and 'marchitez sorpresiva' in African oil palm in Surinam. **Netherlands Journal of Plant Pathology**, v. 99, n. 3, p. 129-138, 1993.

VENTURIERI, A. Evolução da área plantada com palma de óleo no Brasil, com ênfase no estado do Pará. **Agroenergia em Revista**. Ed. 2. p.18, 2011.

## CAPÍTULO 2

### 3. DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO AMARELECIMENTO FATAL EM PLANTIO ORGÂNICO E CONVENCIONAL DE PALMA DE ÓLEO, COM USO DA GEOESTATÍSTICA

#### RESUMO

O trabalho teve por objetivo avaliar a existência de dependência espacial de casos de amarelecimento fatal (AF) por meio da Geoestatística. O experimento foi conduzido em área de cultivo no município de Acará, Estado do Pará-Brasil. Quatro parcelas com plantio de palma de óleo foram georreferenciadas e os casos de AF monitorados durante vinte e sete meses (entre os anos de 2012 e 2014). Os dados foram analisados utilizando metodologia Geoestatística para avaliar o processo de dispersão do AF. Foi evidenciada a existência de dependência espacial fraca entre plantas com AF, sendo o modelo de semivariograma isotrópico esférico o de melhor ajuste. Os casos de AF apresentam distribuição agregada, sendo o raio de agregação sempre menor que 220 metros.

**Palavras-chave:** Dispersão espacial. *Elaeis guineensis*. Epidemiologia.

#### SPATIAL DISTRIBUTION OF FATAL YELLOWING IN ORGANIC AND CONVENTIONAL PLANTING OIL PALM, WITH THE USE OF GEOSTATISTICS

#### ABSTRACT

The study aimed to evaluate the existence of spatial dependence of cases of fatal yellowing by geostatistics. The experiment was conducted in growing area in the municipality of Acará, State of Pará-BR. Four plots with oil palm plantations were georeferenced and cases of fatal yellowing monitored during the period 2012 to 2014. The data were analyzed using geostatistical methodology to evaluate the process of spreading the infection. Results indicated the presence of weak spatial dependency and the model of isotropic spherical semivariogram the best. The cases of AF clumped distribution, and it's always less aggregation radius 220 meters.

**Keywords:** Spatial dispersion. *Elaeis guineensis*. Epidemiology.

#### 3.1. Introdução

A palma de óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.) é uma excelente alternativa para a geração de energia de forma renovável. O mercado mundial de óleo de palma é liderado pela Indonésia e pela Malásia. Em 2012 a produção da Indonésia foi de 25,4 milhões de toneladas (USDA, 2012). Na safra 2011/2012 a produção mundial de 56,12 milhões de toneladas de

óleo palma ultrapassou a produção de soja que foi de 42,06 milhões de toneladas. No Brasil existe mais de 28,9 milhões de hectares propícios para o plantio de palma, a maior parte das áreas estão localizadas na Região Norte (ALVES et al., 2013). O Pará possui condições para aumentar consideravelmente a área de cultivo de palma de óleo. Pois dispõe de 13,1 milhões de hectares aptos ao plantio de palma (EMBRAPA, 2010).

O Amarelecimento Fatal (AF) é o mais grave problema fitossanitário enfrentado em países da América Latina. No Brasil o problema foi detectado no Estado do Pará em 1980, sendo responsável pela erradicação de mais de dois mil hectares de plantio da cultura (LARANJEIRA et al., 1998). O AF representa o maior entrave a expansão da palma de óleo, no Estado do Pará (BOARI et al., 2012) e representa riscos aos investimentos que vem sendo feitos na cadeia produtiva da cultura no Brasil.

A principal característica do AF é o amarelecimento dos folíolos basais das folhas intermediárias (3, 4, 5 e 6) que necrosam nas extremidades dos folíolos e que evoluem para a seca total das folhas. A enfermidade pode apresentar diferentes sintomas, condições e em qualquer fase do desenvolvimento da planta (BRIOSO et al., 2008). A expressão do AF e o desenvolvimento de sintomas podem seguir diferentes etapas, dependendo das condições ambientais espaciais e temporais da plantação (DRENTH et al., 2013).

Um dos primeiros passos para o controle eficiente de um organismo praga é conhecer o processo de dispersão. Estudos realizados por Bergamin Filho et al. (1998) e Laranjeira et al. (1998) atribuem a origem do problema a fator abiótico. Por outro lado Van de Lande e Zadoks (1999) atribuem a origem ao fator biótico.

Caracterizar a distribuição espacial dos membros de uma população doente torna mais fácil entender a causa do problema (SALES, 2011). O esclarecimento da forma de disseminação do AF é de fundamental importância para o desenvolvimento de estratégias eficientes de combate e controle.

Objetivou-se com este trabalho definir a distribuição espacial de casos de amarelecimento em áreas de plantio orgânico e convencional de *E. guineensis*, no município de Acará-PA, utilizando metodologia de análise Geoestatística.

## 3.2. Material e métodos

### 3.2.1. Localização da área de estudo e amostragem das plantas doentes

Os dados foram coletados mensalmente entre janeiro de 2012 e março de 2014 (27 meses), em quatro parcelas de plantio da Companhia Palmares da Amazônia (CPA),

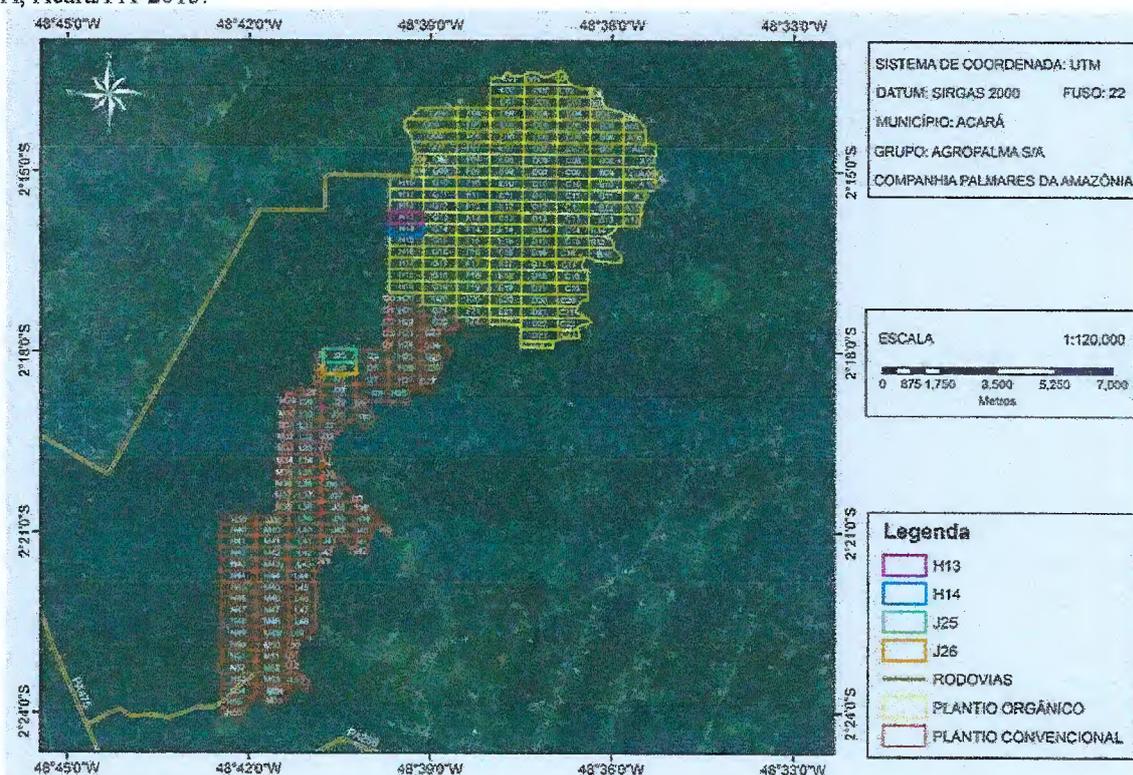
município de Acará, Estado do Pará, Brasil. O clima é do tipo Am, segundo a classificação de Köppen, com maiores precipitações nos meses de janeiro a maio e menores de agosto a novembro. A temperatura média anual é de aproximadamente 26 °C e a umidade relativa do ar de 80%. Solo altamente intemperizado com predomínio de Latossolo (EMBRAPA, 2006).

A palma de óleo é cultivada tanto de forma convencional quanto orgânica. Nas diversas parcelas existe uma diversidade de material genético (Lame, Lame x Deli e Ghana), com espaçamento de 9,0 m (triângulo equilátero).

Foram selecionadas duas parcelas do plantio convencional e duas do plantio orgânico. As parcelas possuem cultivo homogêneo, com idade de plantio de 15 e 19 anos, respectivamente. O ano de plantio das parcelas de cultivo orgânico foi 2000 e de cultivo convencional foi em 1996. O centro da área de plantio orgânico utilizada no estudo possui coordenadas geográficas central (2°15'51" S; 48°39'26" W) e altitude de 27 m. A área de plantio convencional possui coordenadas geográficas (2°18'06" S; 48°40'25" W) e altitude de 23 m.

Na Figura 4 estão os pontos que representam as parcelas de cultivo orgânico (H13 e H14) e cultivo convencional (J25 e J26).

**Figura 4** – Localização das parcelas de estudo do plantio orgânico (H13 e H14) e convencional (J25 e J26). CPA, Acará/PA-2015.



Fonte: Autor, 2015.

A escolha da propriedade foi em função da existência de casos de AF na fase inicial (entre 4% e 10%). As parcelas selecionadas foram: H13 (área de 36,49 ha), H14 (área de 36,06 ha), J25 (área de 41,71 ha) e J26 (área de 35,86 ha).

Foram utilizados dados de incidência do AF fornecidos pela CPA. Todas as plantas de cada parcela foram avaliadas, seguindo o método de presença (1) e ausência (0). No final do levantamento foi feita a contagem total de plantas com AF, definido o padrão de dispersão em cada parcela e elaborado os mapas de distribuição espacial das plantas.

Os dados foram submetidos à análise Geoestatística com objetivo de verificar a existência de dependência espacial, por meio do semivariograma experimental, descrito por:

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i+h)]^2$$

Onde  $N(h)$  é o número total de pares de plantas doentes, separados por uma distância  $h$ . O gráfico de  $\gamma^*(h)$  versus os valores correspondentes de  $h$ , chamado semivariograma, é função da distância ( $h$ ), sendo, portanto, dependente na magnitude e direção da distância. Em casos de variáveis espacialmente dependentes, espera-se que os incrementos  $[Z(x_i) - Z(x_i+h)]$  aumentem com a distância até um ponto de estabilização, um limiar simbolizado por  $C$ , que se aproxima numericamente da variância dos dados.

Para análise dos dados amostrais utilizados neste trabalho, utilizou-se o software SURFER® 8.0 (Golden Software Inc). Utilizando-se os parâmetros definidos no ajuste do semivariograma ( $C_0$  e  $C_1$ ) foi calculada a porção da variabilidade decorrente da dependência espacial.

Os critérios para ajuste e seleção do melhor modelo foram o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e soma de quadrados de resíduo (SQR). O índice de dependência espacial (IDE) foi calculado através da relação  $[C_1/(C_0+C_1)]*100$ , que segundo Zimback (2001), considera dependência espacial fraca ( $IDE < 25\%$ ); moderada ( $25\% < IDE < 75\%$ ) e forte ( $IDE > 75\%$ ).

O modelo geoestatístico que apresentou resíduo mais próximo de uma distribuição normal foi escolhido como o que melhor representa o padrão de distribuição espacial do AF (FARACO, 2006; SALES, 2011).

### 3.3. Resultados e discussão

O padrão de distribuição do AF nas áreas de cultivo orgânico ajustou-se ao modelo esférico e gaussiano.

A ocorrência do efeito pepita puro em apenas uma parcela pode ser um indicativo que a incidência do AF não ocorre de forma aleatória (VAN DE LANDE; ZADOKS, 1999; SALES, 2011), um variograma do tipo efeito pepita puro indica que não existe padrão agregado na parcela.

O menor alcance do semivariograma nas parcelas de plantio orgânico foi de 20,70 metros, aos doze meses do início do estudo e o maior de 220,00. Apesar do índice de dependência espacial ser fraco fica evidente que os casos de AF possuem dependência espacial, sendo o modelo esférico e gaussiano os de melhor ajuste (Tabela 6).

**Tabela 6** – Modelos e parâmetros dos semivariogramas ajustados aos dados de plantas afetadas pelo AF, no município de Acará/PA, nas parcelas de cultivo orgânico. 2012/14.

Parcela	Época	Parâmetros			Modelo	R <sup>2</sup>	IDE (%)	Grau de dependência
	Incidência	C <sub>0</sub>	C <sub>1</sub>	a(m)				
H13	Dez/2012 (1,4 %)	0,009	0,001	20,70	Esférico	92	11	Fraca
	Jun/2013 (1,9%)	0,012	0,001	21,00	Esférico	81	9	Fraca
	Dez/2013 (5,1 %)	0,042	0,005	150,00	Gaussiano	99	11	Fraca
	Marc/2014 (5,9 %)	0,047	0,008	170,00	Gaussiano	98	14	Fraca
H14	Dez/2012 (2,0 %)	-	-	-	Efeito pepita puro	-	-	-
	Jun/2013 (3,6 %)	-	-	-	Efeito pepita puro	-	-	-
	Dez/2013 (7,6 %)	0,062	0,008	210,00	Gaussiano	90	11	Fraca
	Marc/2014 (8,6 %)	0,07	0,01	220,00	Gaussiano	92	13	Fraca

IDE= Índice de Dependência Espacial, C<sub>0</sub>= Efeito pepita, (C<sub>0</sub>+C<sub>1</sub>)= patamar, a= alcance da dependência espacial. IDE<25% = fraca, 25%<IDE<75%=moderada, IDE>75%=forte.

Fonte: Autor, 2015.

Na parcela H14 foi evidenciado a existência do efeito pepita puro até os dezoito meses do início do estudo (Tabela 6). Isso significa que na referida parcela os casos do AF não possuem agregação. Apesar deste fato nota-se pelo mapa que a maior quantidade de plantas

com a doença estão mais próximas as vias de acesso (Figura 5). É possível que a proximidade da via de acesso possa ter contribuído para a maior ocorrência do AF.

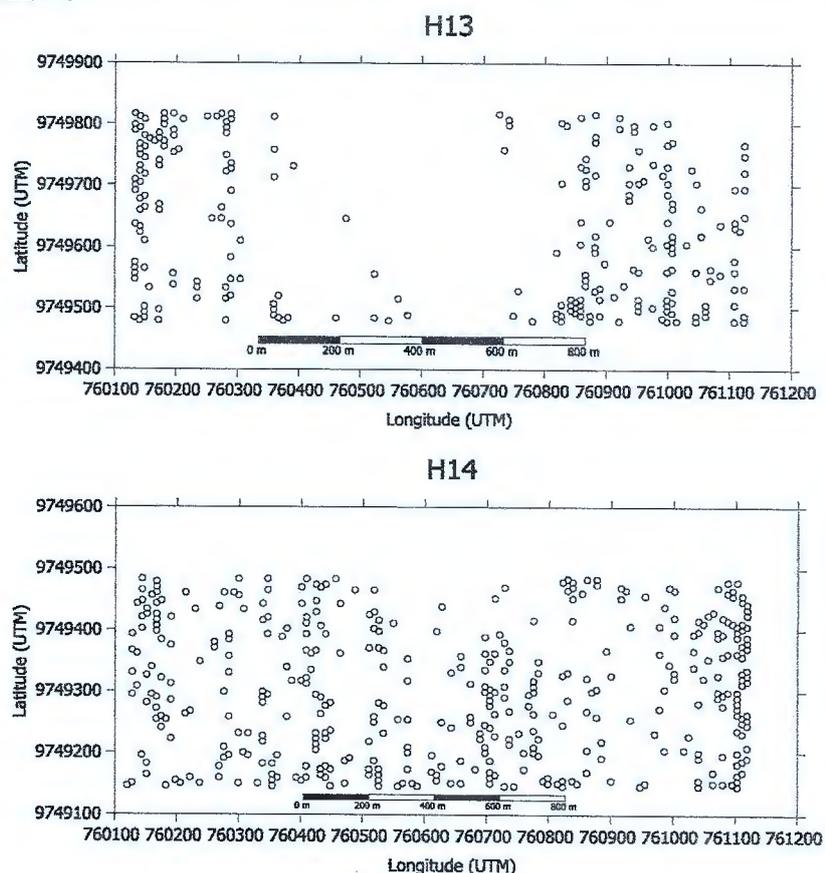
O modelo esférico evidencia que na fase inicial da doença na parcela H13 os focos possuem crescimento em todas as direções. Com o avanço da doença o modelo gaussiano passou a representar melhor o avanço da doença (Tabela 6).

O alcance da dependência espacial é um parâmetro fundamental na interpretação do semivariograma, indicando a distância até onde os pontos amostrais tem correlação entre si, deste modo, os pontos localizados em uma área cujo raio seja o alcance são mais semelhantes entre si, do que os separados por distâncias maiores (CARVALHO et al., 2002).

Nota-se a existência de grupos de plantas afetadas em locais próximos aos limites das parcelas. Provavelmente nestes locais existem condições favoráveis para maior ocorrência do AF. O menor número de plantas doentes refletiu numa boa adequação ao modelo esférico nas parcelas analisadas (H13 e H14).

A doença desde incidência considerada baixa (1,4%) já ocorre agregação de casos. No estudo foi observado que a maior quantidade de casos encontra-se nas linhas de plantio (Figura 5).

**Figura 5** – Mapa de ocorrência das parcelas pelo amarelecimento fatal, ao final do período de estudo, município de Acará - PA, 2012/14.



Fonte: Autor, 2015.

O ajuste de dados ao modelo esférico confirma o que foi observado no campo, a formação de grupos de plantas (focos) com AF. Esses resultados são semelhantes aos encontrados por Van de Lande e Zadoks (1999) e Sales (2011) que também identificaram a ocorrência de focos de plantas com AF em parcelas com nível de ocorrência pequeno. Incidência maior que 15% dificulta a identificação do padrão de distribuição espacial, ao passo que onde a incidência do AF era menor os focos ficam mais evidentes (SALES, 2011).

A direção preferencial de dispersão é a do vento predominante, existindo notadamente mais casos próximos das vias de acesso e afastado de córregos, o que contraria os resultados de Bergamin Filho et al. (2008) e corrobora com o estudo de Sales (2011). Na Figura 10 e 15 observa-se que a maior quantidade de casos ocorreu nas linhas de plantio.

A dificuldade em se definir a causa principal da ocorrência do AF pode estar ligada a possível existência de fatores que predispõe as plantas a serem afetadas pela doença.

Segundo Venturieri et al. (2009), a má drenagem do solo em determinada época do ano pode induzir fragilidade das plantas. Desse modo, fatores abióticos, como o encharcamento do solo, podem ser facilitadores ou até mesmo fatores essenciais para fragilizar a palma de óleo e deixá-la susceptível ao AF.

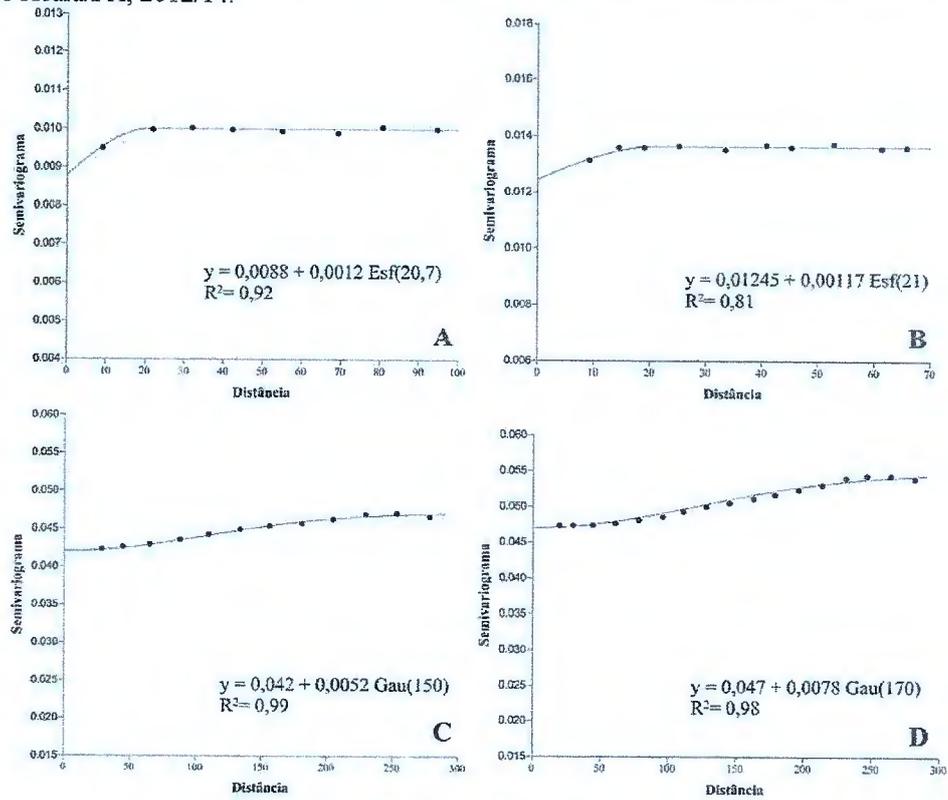
Além disso, há algo que se assemelha a um comportamento infeccioso da doença, pois plantios efetuados em áreas com histórico da doença tendem a ser afetados de forma ainda mais agressiva, quando comparados com plantios em áreas ainda não utilizadas para o cultivo da palma de óleo foi possível constatar dependência espacial das plantas doentes com posterior expansão da doença que ocorreu praticamente por toda área.

O AF não ocorre de forma homogênea e contínua ao redor da primeira planta afetada, sendo um padrão similar aos causados por agente infeccioso transmitido por vetor.

Na Figura 7 é possível perceber que as plantas doença estão dispersão na parcela, com o passar do tempo o processo de agregação fica mais evidente (Figura 9 e 10).

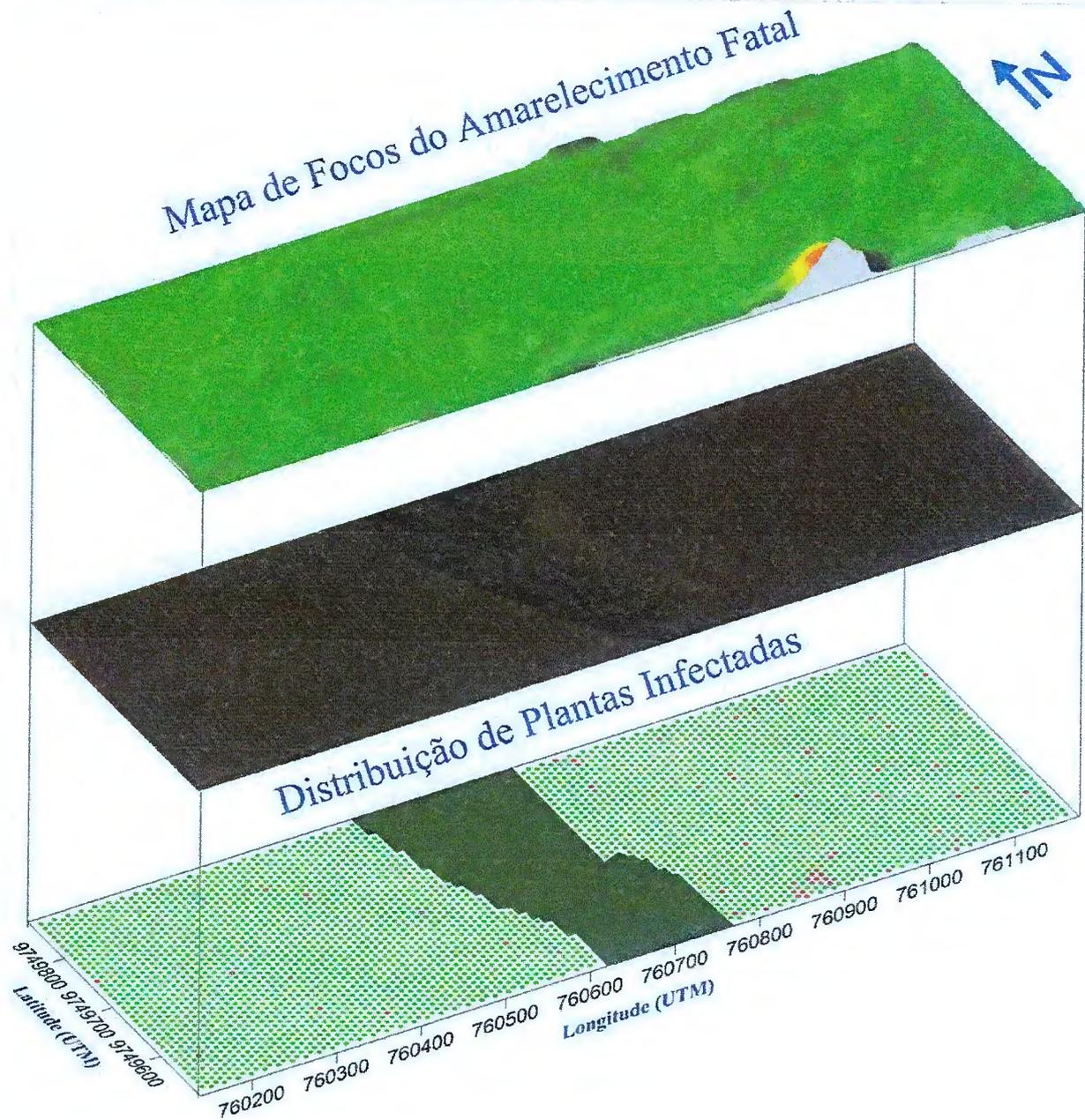
O ajuste dos variogramas com coeficiente ( $R^2$ ) sempre superior a 0,80 é um excelente indicativo do bom ajuste dos modelos ao processo avanço da doença nas parcelas avaliadas (Figura 6).

**Figura 6** – Semivariogramas de AF na parcela H13 (A=Dez/2012, B=Jun/2013, C=Dez/2013, D=Mar/2014), no município do Acará/PA, 2012/14.



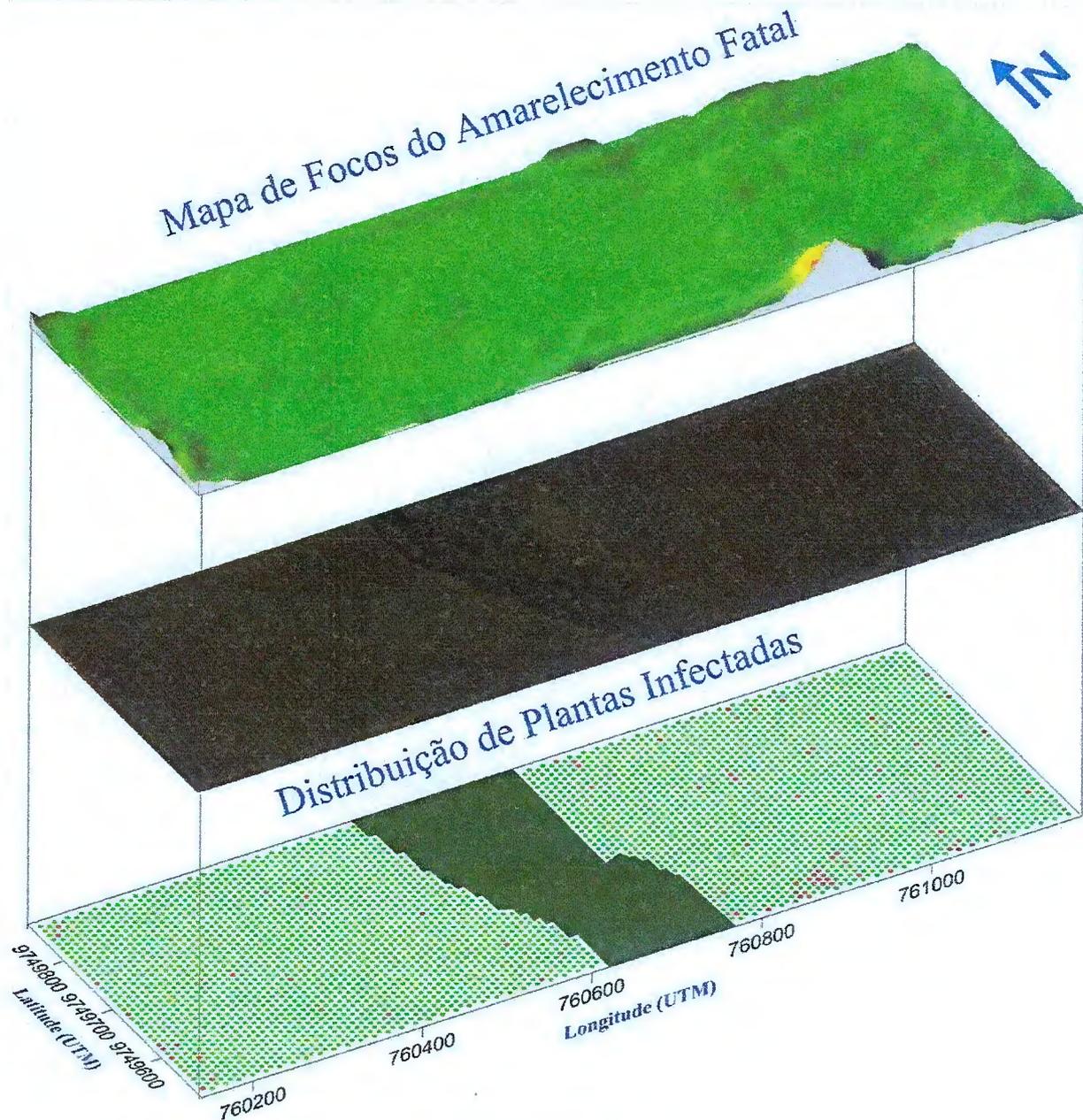
Fonte: Autor, 2015.

**Figura 7** – Mapas de Krigagem do Amarelecimento Fatal na parcela H13 (orgânico), no mês de dezembro de 2012, no município de Acará - PA.



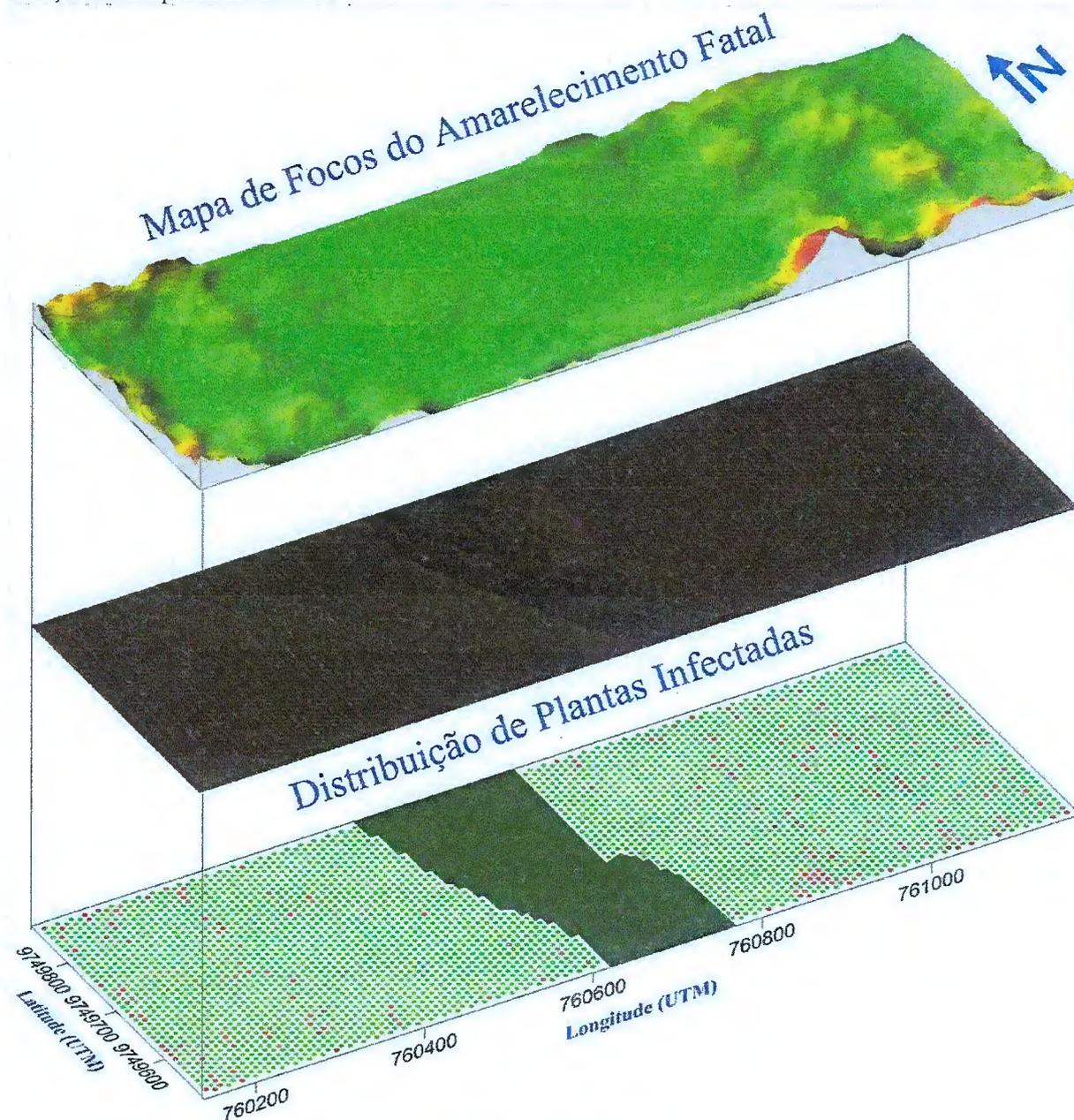
Fonte: Autor, 2015.

**Figura 8** – Mapas de Krigagem do Amarelecimento Fatal na parcela H13 (orgânico), no mês de junho de 2013, no município de Acará - PA.



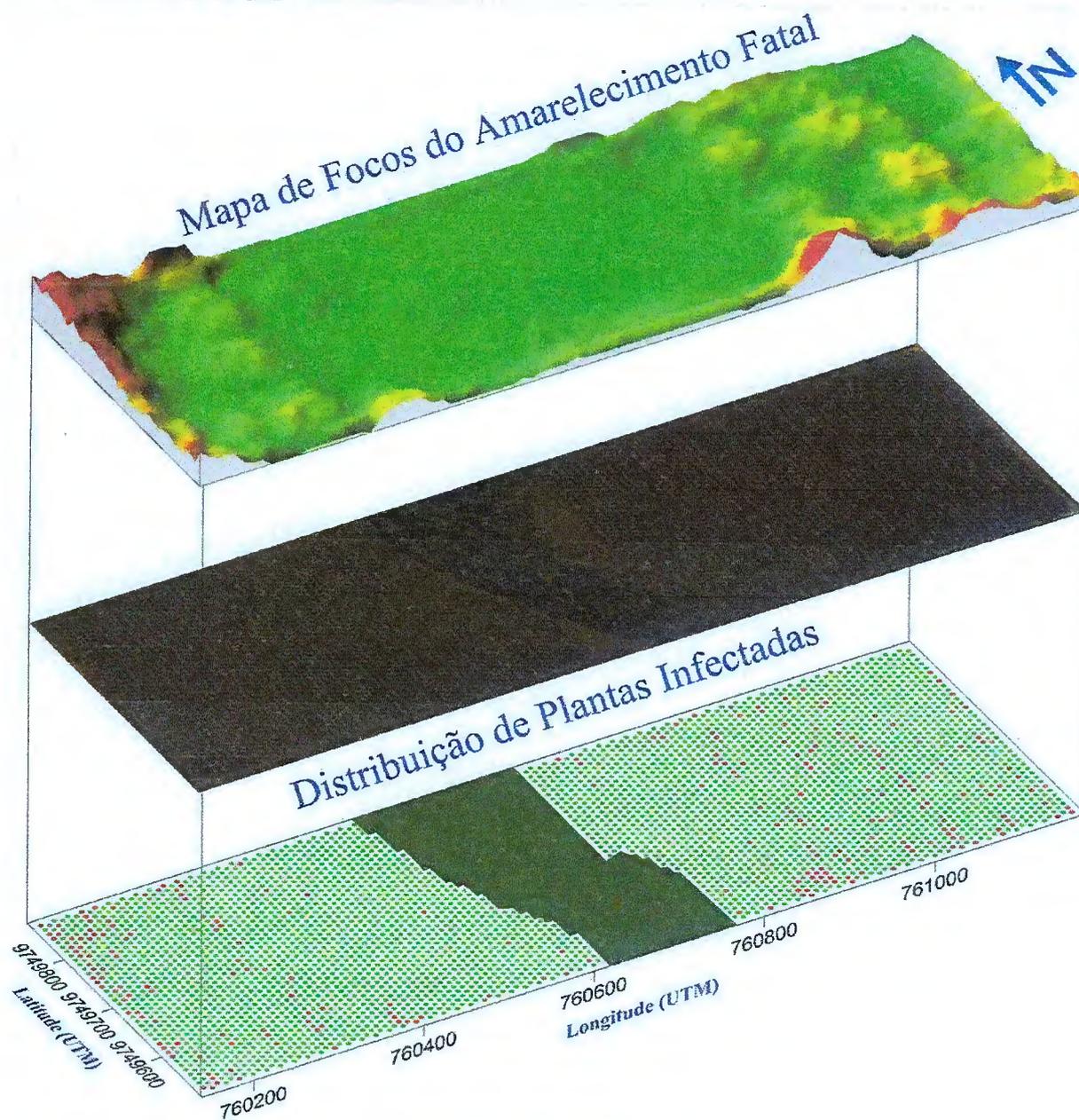
Fonte: Autor, 2015.

**Figura 9** – Mapas de Krigagem do Amarelecimento Fatal na parcela H13 (orgânico), no mês de dezembro de 2013, no município de Acará - PA.



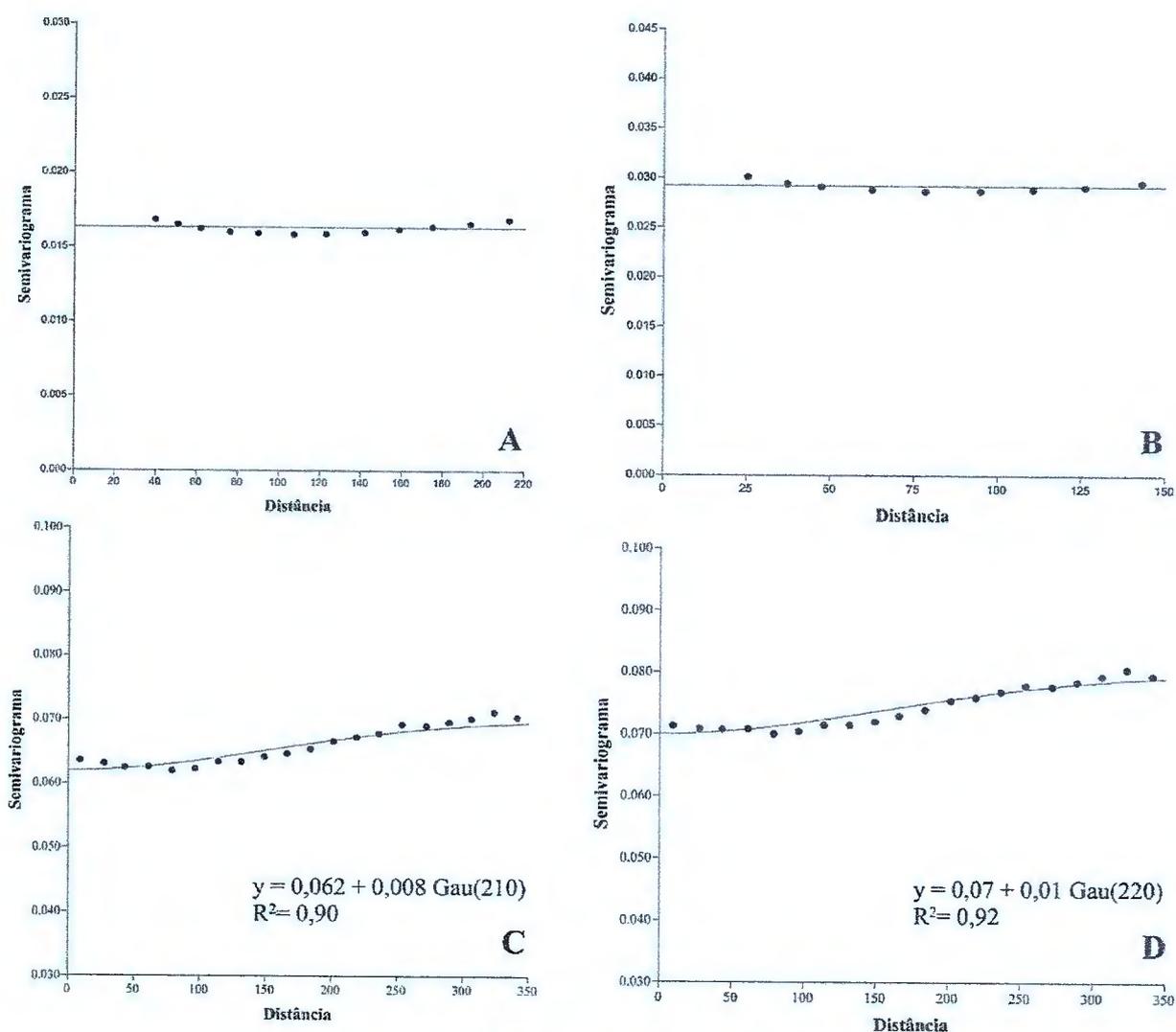
Fonte: Autor, 2015.

Figura 10 – Mapas de Krigagem do Amarelecimento Fatal na parcela H13 (orgânico), no mês de março de 2014, no município de Acará - PA.



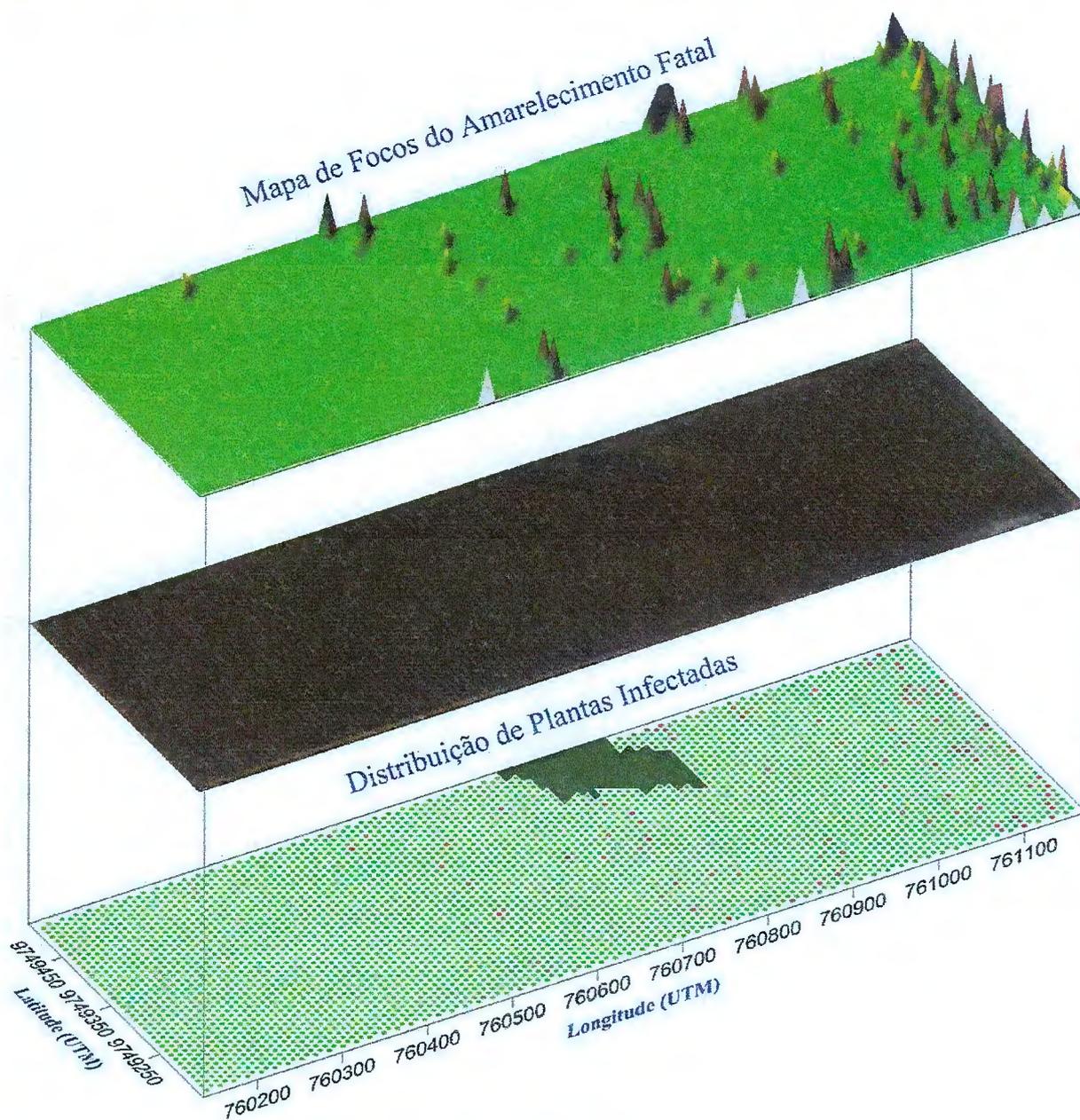
Fonte: Autor, 2015.

**Figura 11** – Semivariogramas de AF na parcela H14 (A=Dez/2013, B=Mar/2014), no município do Acará/PA, 2013/14.



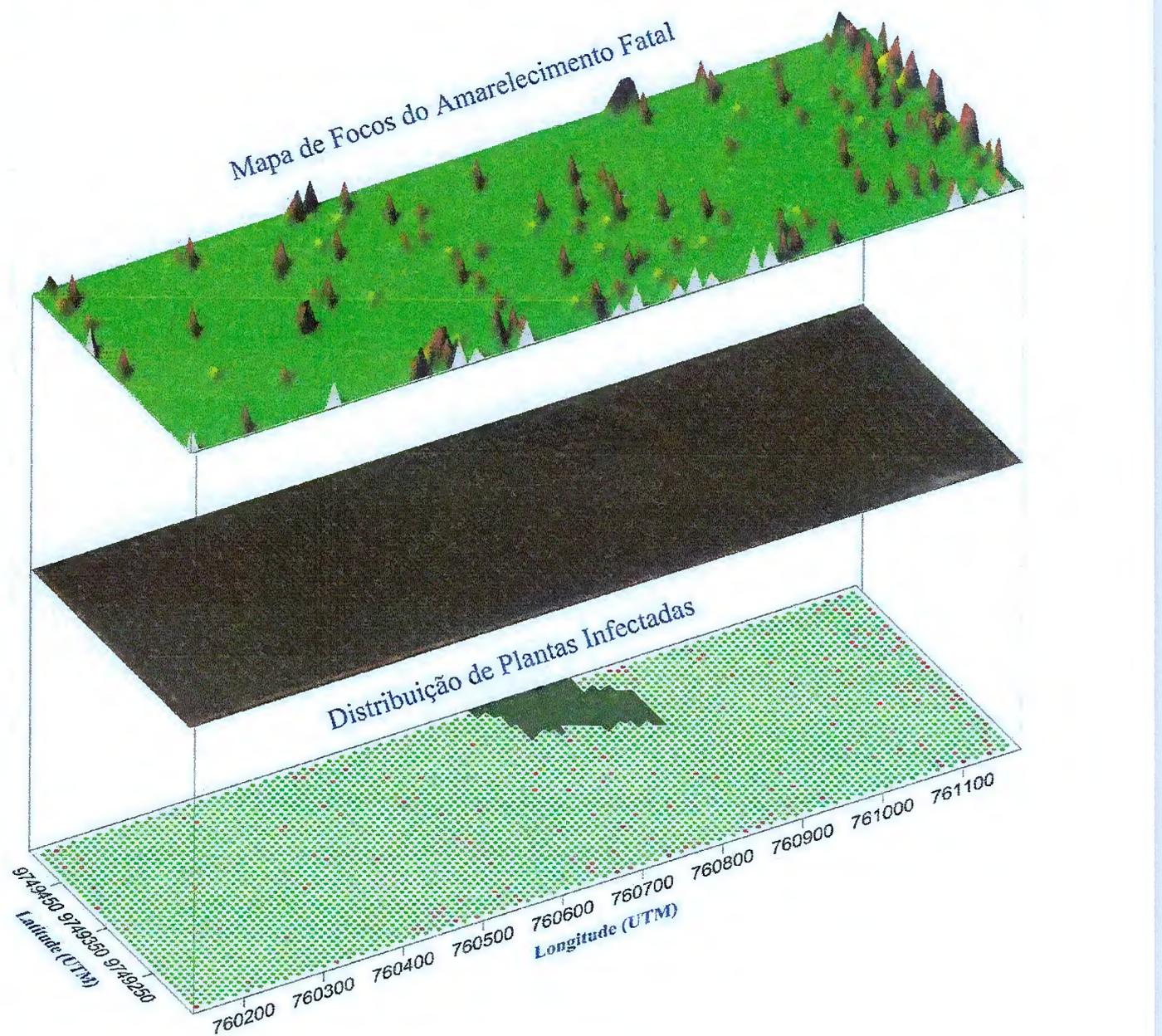
Fonte: Autor, 2015.

**Figura 12** – Mapas do Amarelecimento Fatal na parcela H14 (orgânico), no mês de dezembro de 2013, no município de Acará - PA.



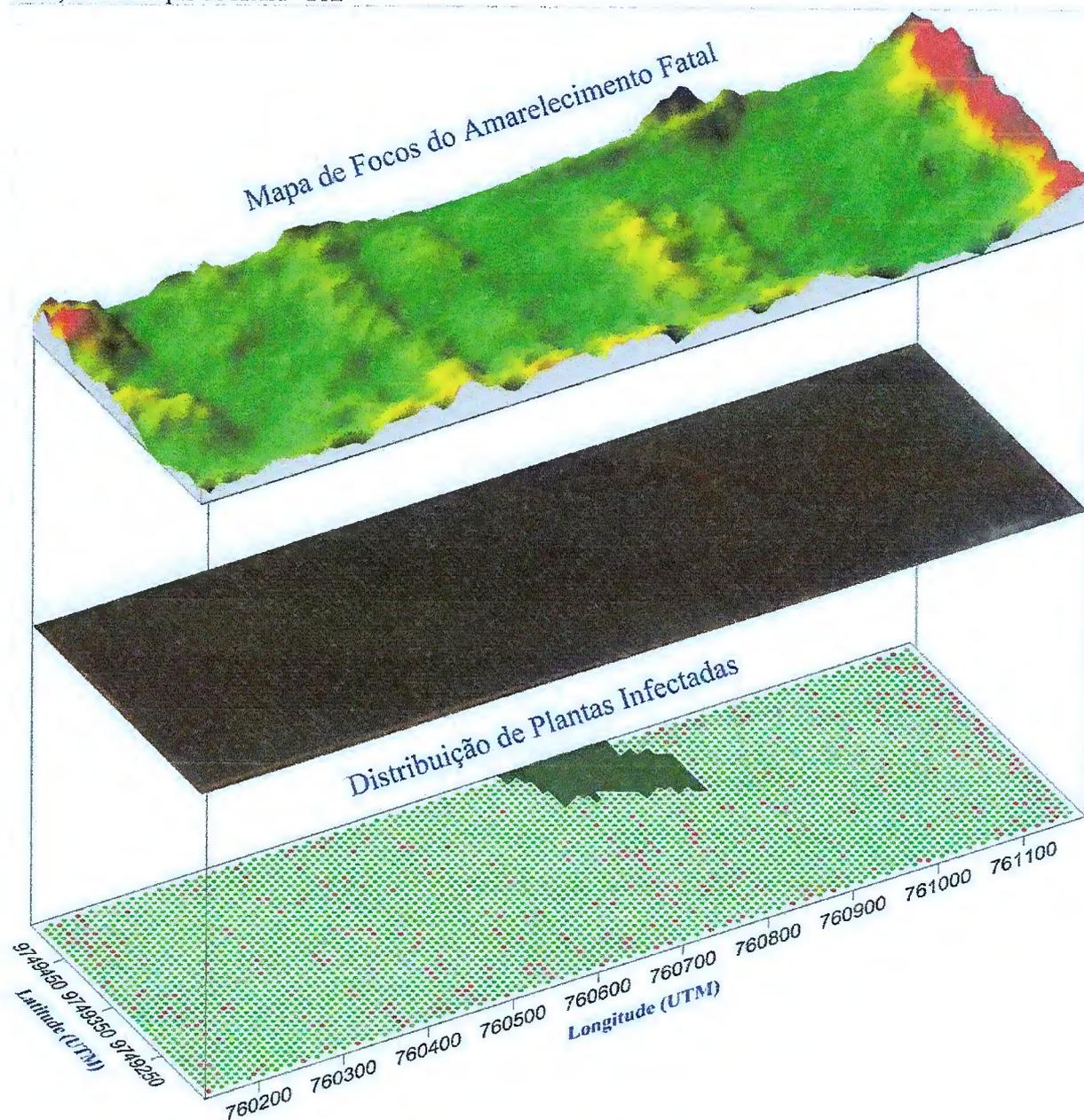
Fonte: Autor, 2015.

**Figura 13** – Mapas do Amarelecimento Fatal na parcela H14 (orgânico), no mês de dezembro de 2013, no município de Acará - PA.



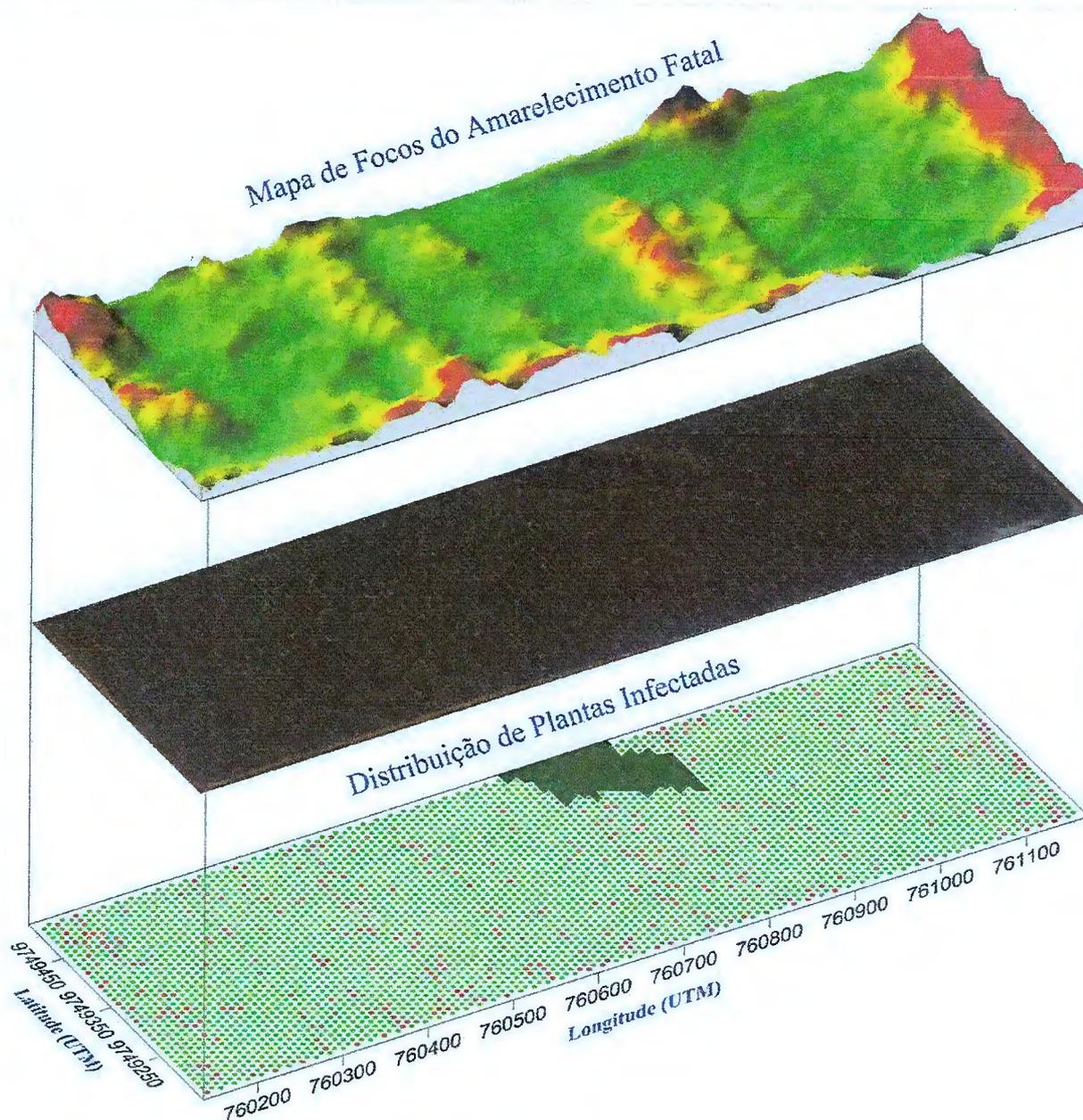
Fonte: Autor, 2015.

**Figura 14** – Mapas de Krigagem do Amarelecimento Fatal na parcela H14 (orgânico), no mês de dezembro de 2013, no município de Acará - PA.



Fonte: Autor, 2015.

**Figura 15** – Mapas de Krigagem do Amarelecimento Fatal na parcela H14 (orgânico), no mês de março de 2014, no município de Acará - PA.



Fonte: Autor, 2015.

Tanto fatores bióticos ou abióticos podem favorecer ao processo de dispersão de forma agregada. No caso de doenças bióticas, o contágio é a causa da formação de focos, enquanto que para doenças abióticas o microclima é o responsável pela expressão agregada dos sintomas (LARANJEIRA et al., 1998). As parcelas H13 e H14 são limitadas por mata mais densa do lado Oeste, mesmo assim existe foco de plantas doentes na face Leste que é limitada pelo ramal de acesso. Desta forma fica menos provável que exista favorecimento da doença pelo microclima.

Nas margens do ramal de acesso notam-se maior ocorrência de plantas doentes, apesar de casos dispersos ocorrem nas parcelas.

O surgimento de novas plantas doentes próximas a plantas com AF pode ser um indicativo de doença de origem biótica, já que plantas com AF influenciam a condição das plantas imediatamente adjacentes.

No estudo a baixa quantidade de plantas afetadas favoreceu a identificação do padrão assumido no campo pelo AF (Tabela 7), fato já observado em outros estudos.

No plantio convencional os primeiros casos de AF foram identificados no primeiro semestre de 2013. O raio de alcance ( $a$ ) variou entre 19,20 e 78,50 m, podendo indicar a distância para possíveis medidas de controle tanto no plantio orgânico e convencional o raio foi sempre menor que 220 metros (Tabela 6 e 7).

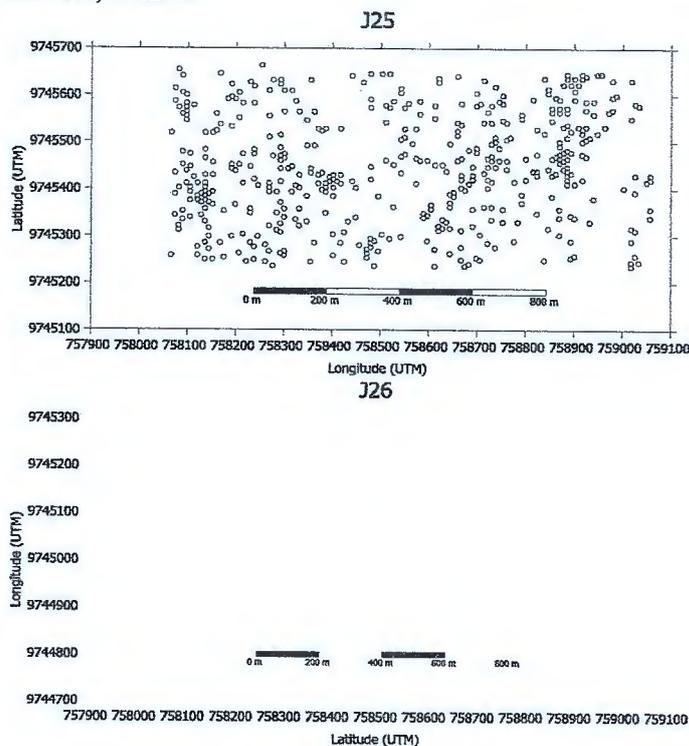
**Tabela 7** – Modelos e parâmetros dos semivariogramas ajustados aos dados de plantas afetadas pelo AF, no município de Acará/PA, nas parcelas de cultivo convencional. 2012/14.

Parcela	Época	Parâmetros			Modelo	R <sup>2</sup>	IDE (%)	Grau de dependência
	Incidência	C <sub>0</sub>	C <sub>1</sub>	a(m)				
J25	Jun/2013 (1,6 %)	0,015	0,001	42,30	Esférico	0,92	8	Fraca
	Dez/2013 (6,9 %)	0,075	0,017	76,00	Exponencial	0,97	19	Fraca
	Mar/2014 (7,2 %)	0,078	0,017	78,50	Exponencial	0,98	18	Fraca
J26	Jun/2013 (1,0 %)	0,007	0,002	19,20	Esférico	0,91	24	Fraca
	Dez/2013 (3,6 %)	0,030	0,004	22,00	Esférico	0,98	11	Fraca
	Mar/2014 (4,3 %)	0,035	0,005	24,40	Esférico	0,93	13	Fraca

IDE= Índice de Dependência Espacial, C<sub>0</sub>= Efeito pepita, (C<sub>0</sub>+C<sub>1</sub>)= patamar, a= alcance da dependência espacial.

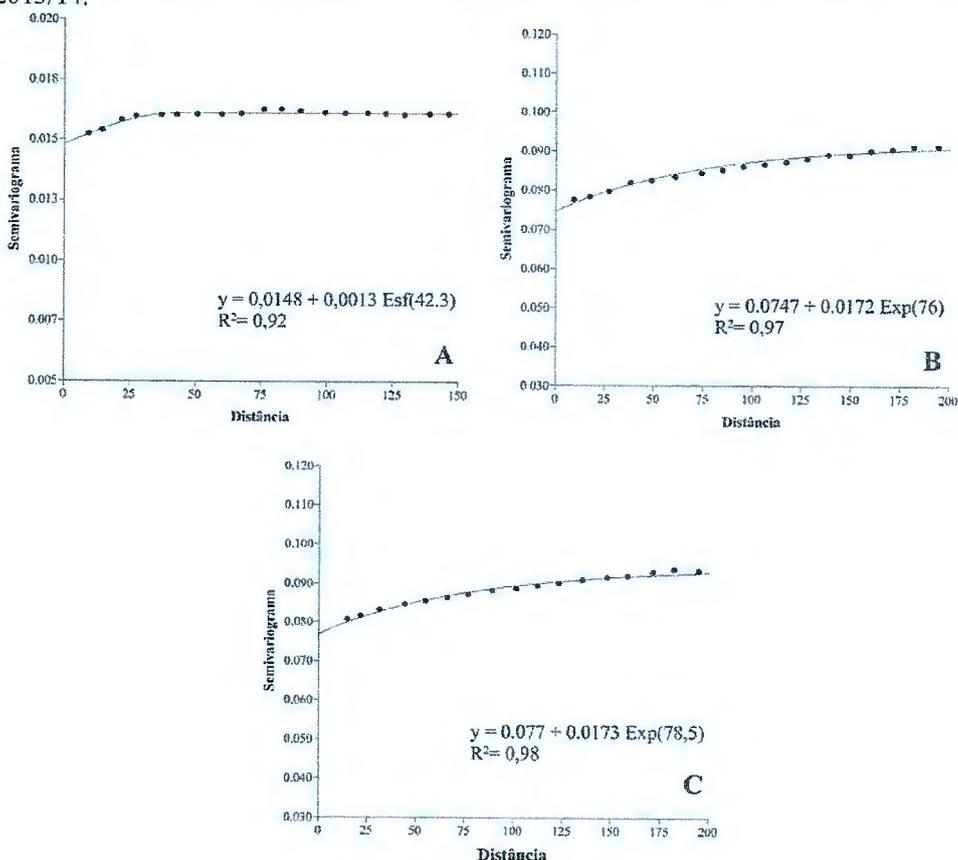
Fonte: Autor, 2015.

Figura 16 – Mapa de ocorrência das parcelas J25 e J26 pelo amarelecimento fatal, ao final do período de estudo, município de Acará - PA, 2012/14.



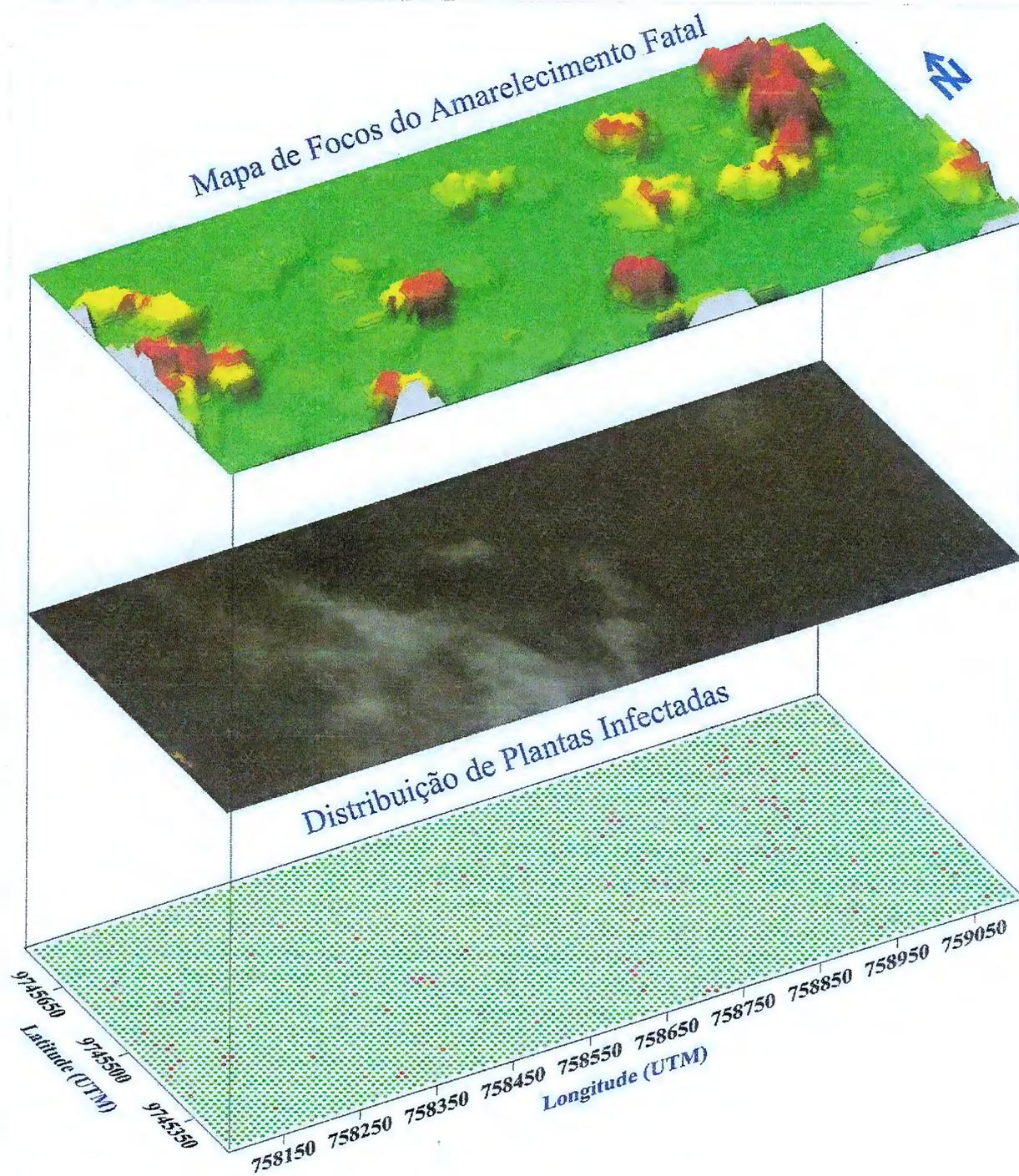
Fonte: Autor, 2015.

Figura 17 – Semivariogramas de AF na parcela J25 (A=Jun/2013, B=Dez/2013, C= Mar/2014), no município do Acará/PA, 2013/14.



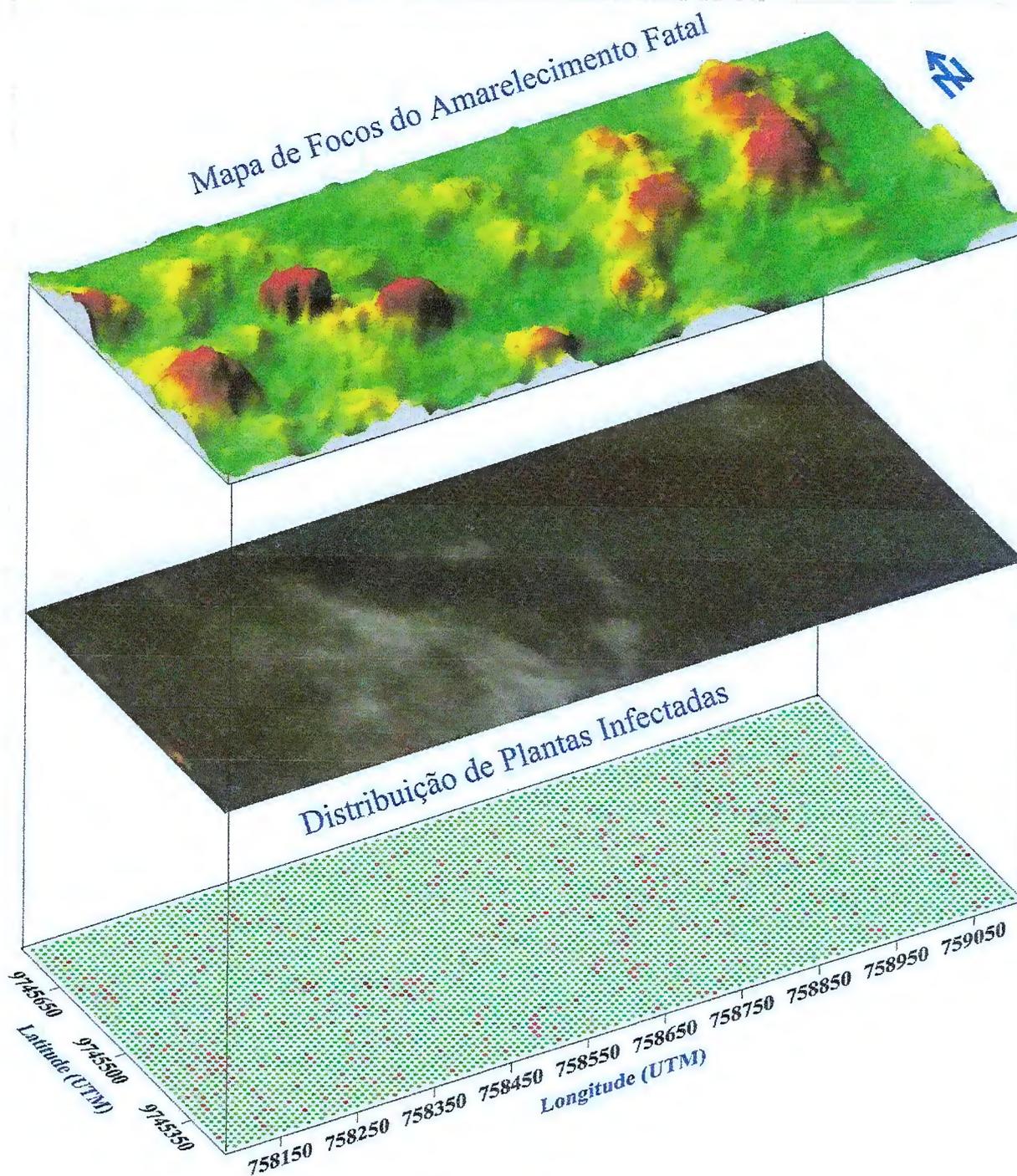
Fonte: Autor, 2015.

**Figura 18** – Mapas de Krigagem do Amarelecimento Fatal na parcela J25 (convencional), no mês de junho de 2013, no município de Acará - PA.



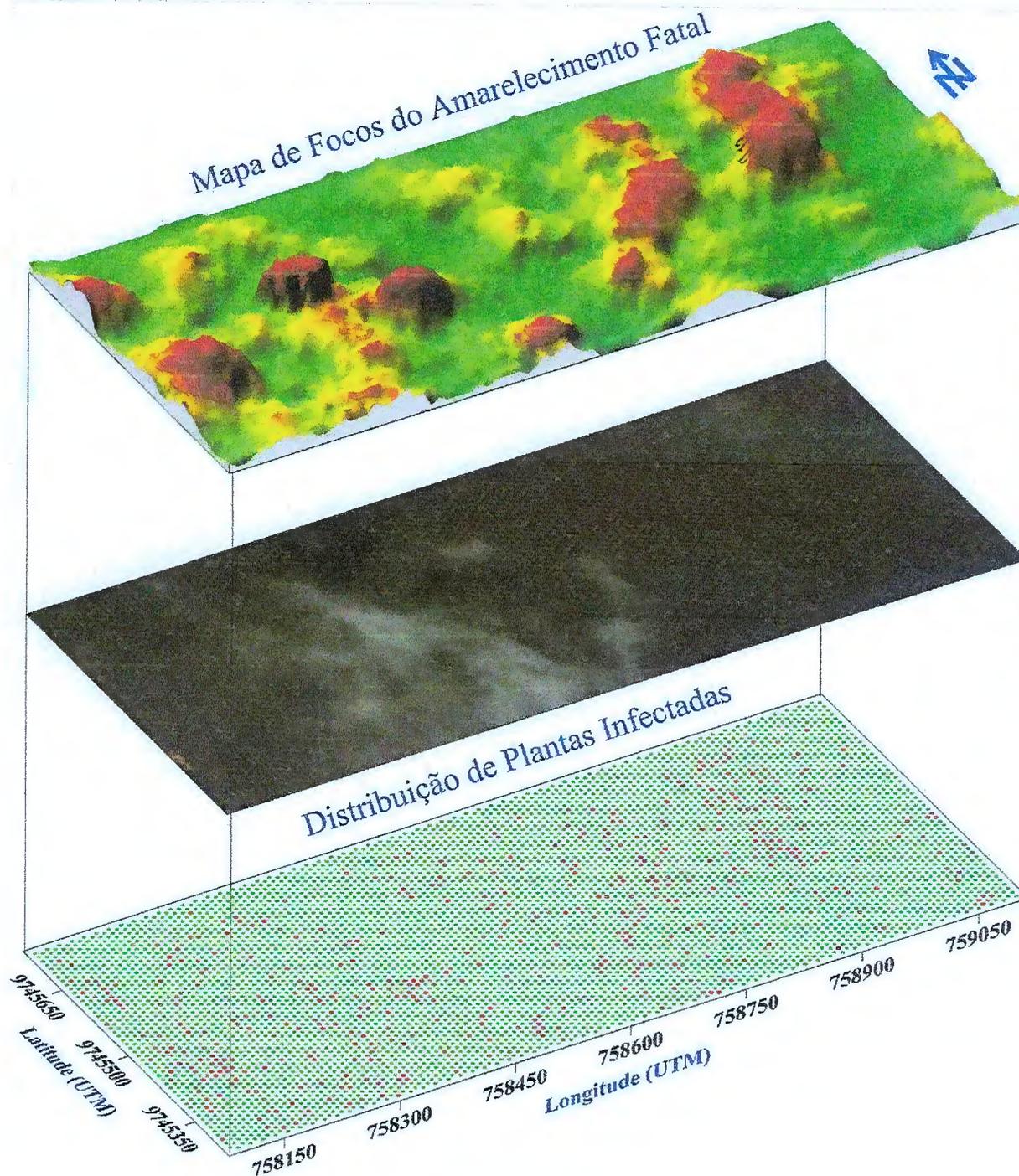
Fonte: Autor, 2015.

**Figura 18** – Mapas de Krigagem do Amarelecimento Fatal na parcela J25 (convencional), no mês de dezembro de 2013, no município de Acará - PA.



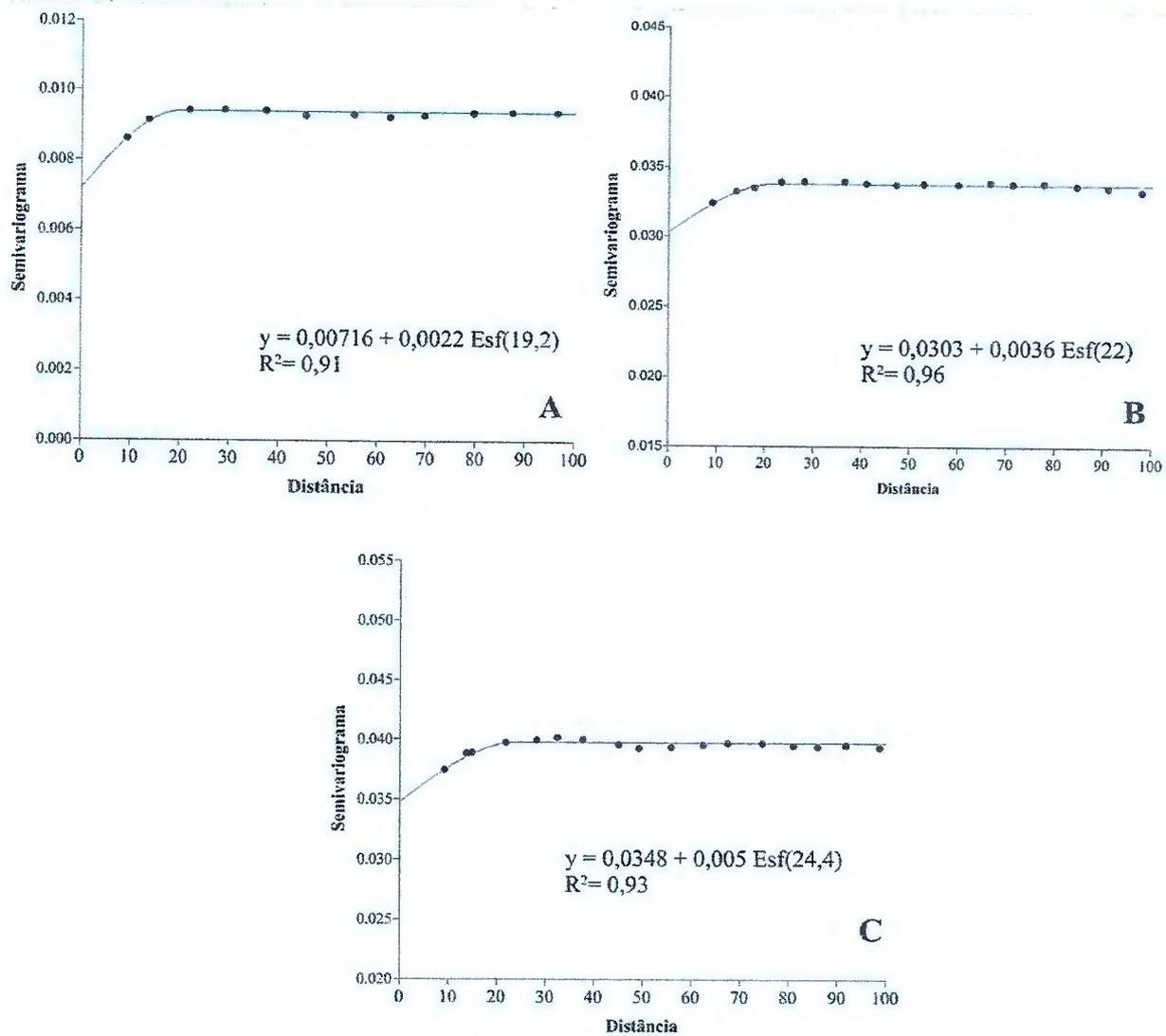
Fonte: Autor, 2015

Figura 19 – Mapas de Krigagem do Amarelecimento Fatal na parcela J25 (convencional), no mês de março de 2014, no município de Acará - PA.



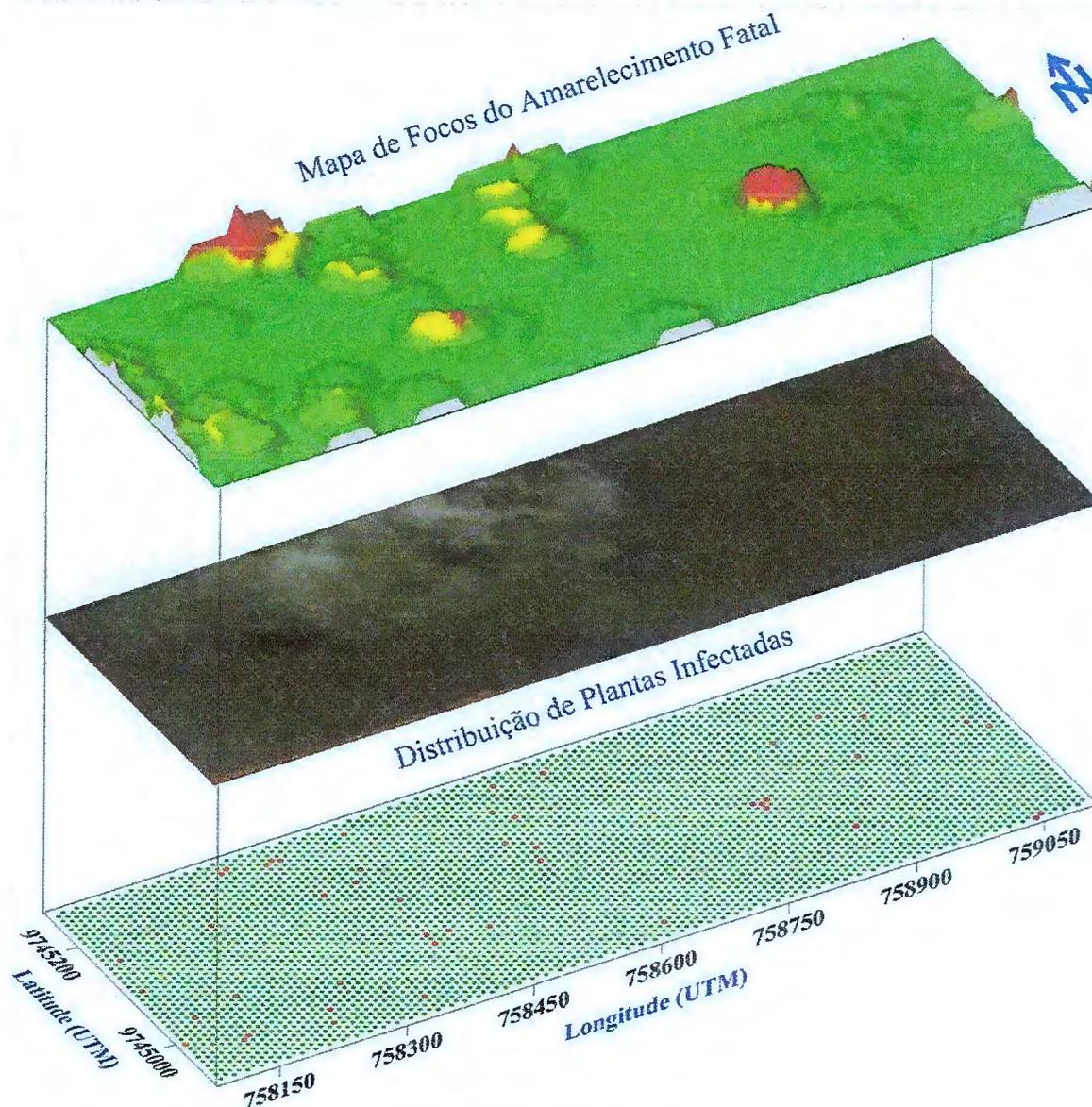
Fonte: Autor, 2015

**Figura 20** – Semivariogramas de AF na parcela J26 (A=Jun/2013, B=Dez/2013, C= Mar/2014), no município do Acará/PA, 2013/14.



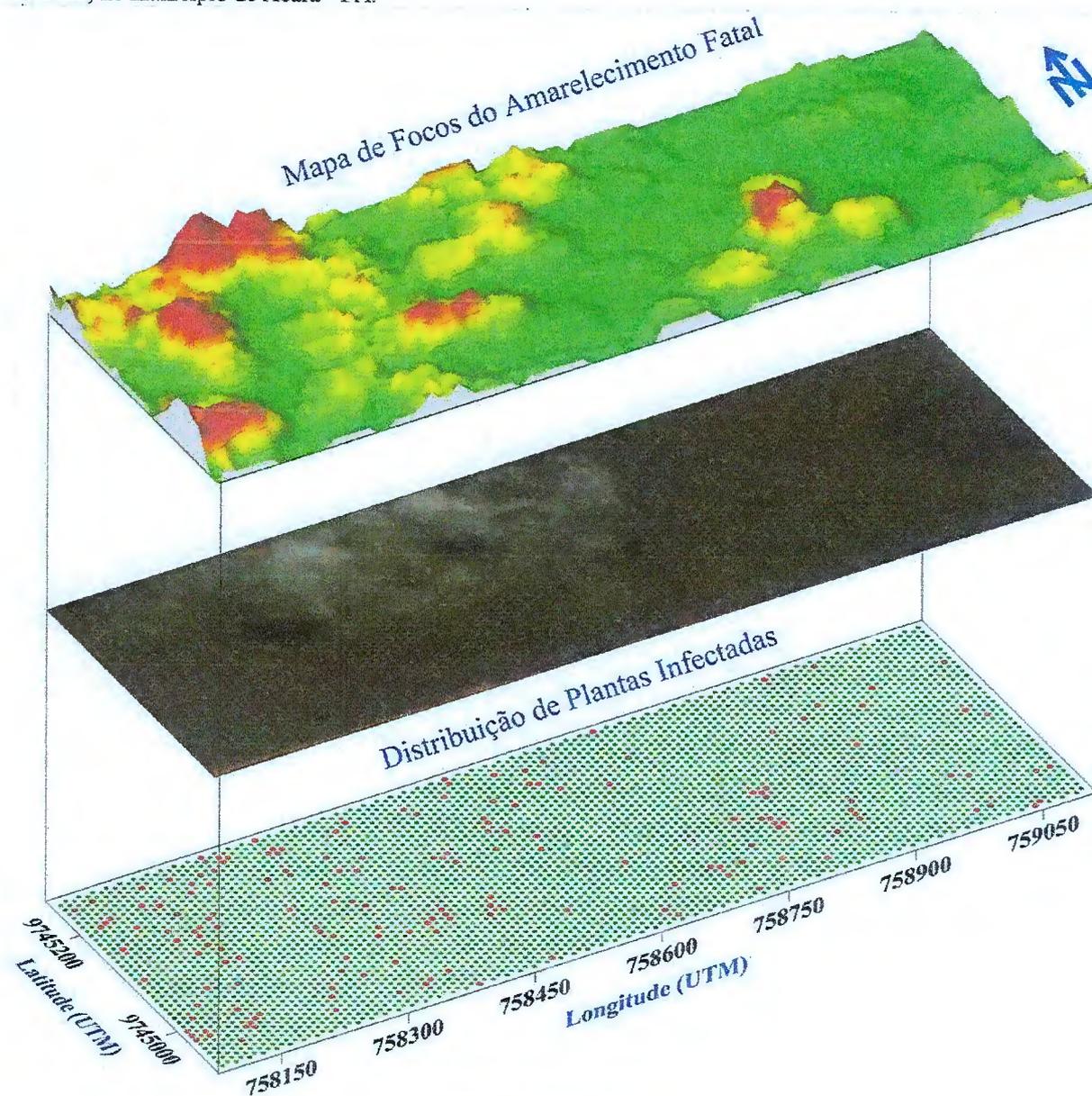
Fonte: Autor, 2015.

Figura 21 – Mapas de Krigagem do Amarelecimento Fatal na parcela J26 (convencional), no mês de junho de 2013, no município de Acará - PA.



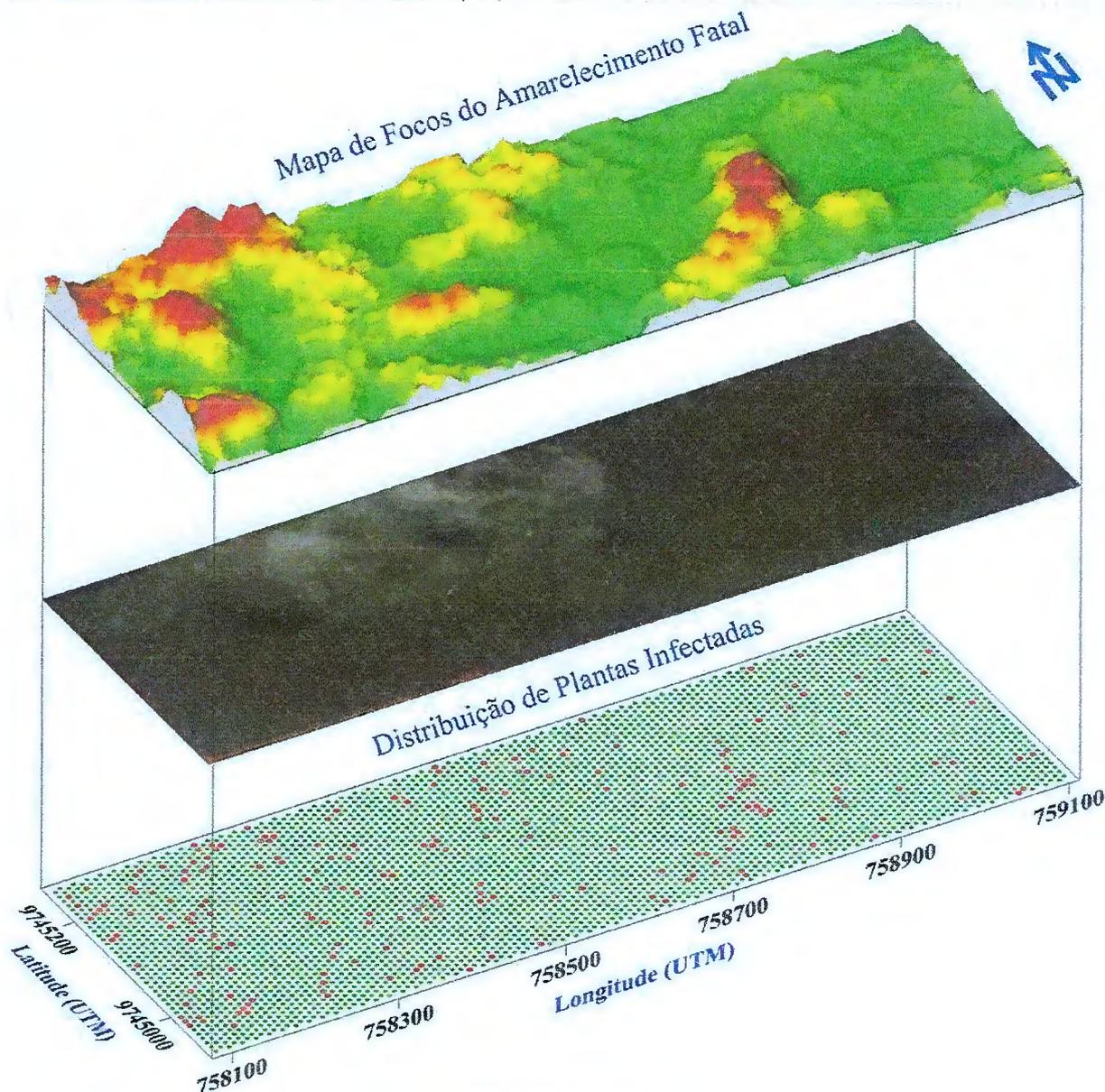
Fonte: Autor, 2015.

**Figura 22** – Mapas de Krigagem do Amarelecimento Fatal na parcela J26 (convencional), no mês de dezembro de 2013, no município de Acará - PA.



Fonte: Autor, 2015.

**Figura 23** – Mapas de Krigagem do Amarelecimento Fatal na parcela J26 (convencional), no mês de março de 2013, no município de Acará - PA.



Fonte: Autor, 2015.

O modelo de dispersão predominante leva a crer que existe a formação de grupos de plantas com AF próximas e elas contribuem para o avanço da doença.

### 3.5. Conclusões

1. A distribuição espacial do amarelecimento fatal da palma de óleo, na fase inicial, ajustou-se ao modelo esférico com dependência espacial fraca;
2. O raio de agregação de plantas com AF no campo variou entre 20,70 e 220 metros;
3. Pelos resultados óbitos nas análises é possível perceber que os casos de AF seguem uma distribuição agregada indicando uma origem biótica.
4. O plantio convencional foi mais afetado pelo AF que o plantio orgânico.

**REFERÊNCIAS**

- ALVES, S.A. DE O.; AMARAL, WEBER A.N. DO; HORBACH, MICHELI A.; ANTIQUEIRA, LIA MARIS O.R.; BRAGA, LUCAS P.P.; DIAS, ISABEL F. DA S. A dendeicultura no Estado do Pará: cenário atual, entraves e perspectivas. **Bioenergia em revista: diálogos**, ano 3, n. 2, p. 18-28, jul./dez. 2013.
- BERGAMIN FILHO, A.; AMORIM, L.; LARANJEIRA, F.F.; BERGER, R.D.; HAU, B. Análise temporal do amarelecimento fatal do dendezeiro como ferramenta para elucidar sua etiologia. **Fitopatologia Brasileira**, v.23, n. 3, p.391-396, 1998.
- BOARI, A. DE J.; TEIXEIRA, W.G.; VENTURIERI, A.; MARTORANO, L.; TREMACOLDI, C.R.; CARVALHO, K.B. **Avanços nos estudos sobre o amarelecimento fatal da palma de óleo (*Elaeis guinnensis* Jacq.)**. In: Tropical PlantPathology37 (Suplemento), agosto 2012 45º Congresso Brasileiro de Fitopatologia - Manaus, AM Copyright the Brazilian Phytopathological Society. Disponível em:<<http://www.sbfito.com.br>>Acesso em: 12 out. 2014.
- BRIOSO, P.S.T.; MONTANO, H.G.; TRINDADE, D.R.; POLTRONIERI, L.S.; FURLAN JÚNIOR, J. Etiologia do amarelecimento fatal do dendezeiro. In: Luiz Poltronieri; Dinaldo Rodrigues Trindade; Israel Pereira dos Santos. (Org.). **Pragas e doenças de cultivos amazônicos**. 2 ed. Brasília (DF): Embrapa Informação Tecnológica, v. 1, p. 325-350, 2008.
- CARVALHO, J.R.P.; SILVEIRA, P.M.; VIEIRA, S.R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.8, p.1151-1159, 2002.
- DRENTH, A.; TORRES, G.A.; MARTÍNEZ LÓPEZ, G. *Phytophthora palmivora*, la causa de la Pudrición del cogollo en la palma de aceite. **Revista Palmas**, v. 34, p. 87-94, 2013.
- EMBRAPA. **Zoneamento agroecológico do dendezeiro para as áreas desmatadas da Amazônia Legal**. Relatório Síntese. Rio de Janeiro, 2010. 44 p. Disponível em: <[www.cnps.embrapa.br/zoneamento\\_dende/ZonDende.pdf](http://www.cnps.embrapa.br/zoneamento_dende/ZonDende.pdf)>. Acesso em: 29 out.2014.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 306p. 2006.
- FARACO, M.A. **Qualidade do ajuste de modelos geoestatísticos utilizados na agricultura de precisão**. 2006. 135p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel.
- LARANJEIRA, F.F.; BERGAMIN FILHO, A.; AMORIM L.; BERGER, R.D.; HAU, B. Análise espacial do amarelecimento fatal do dendezeiro como ferramenta para elucidar sua etiologia. **Fitopatologia Brasileira**, v. 23, n.3, p. 397-403, 1998.

SALES, T. DE M. **Análise geoestatística da distribuição espacial do amarelecimento fatal do dendezeiro no Nordeste Paraense.** Belém, 2011. 32 f.:il. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, PA, 2011.

USDA, UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Oil seeds world markets and trade.** p. 08-12, 2012. Disponível em: <<http://www.fas.usda.gov/psdonline/>> Acesso em: 22 nov. 2014.

VAN DE LANDE, H.L.; ZADOKS, J.C. Spatial patterns of spear rot in oil palm plantations in Suriname. **Plant Pathology**, v.48, n.2, p.189-201, 1999.

VENTURIERI, A.; FERNANDES, W.R.; BOARI, A.J.; VASCONCELOS, M.A. Relação entre ocorrência do Amarelecimento Fatal do dendezeiro (*Elaeis guineenses* Jacq.) e variáveis ambientais no estado do Pará. Anais. XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 523-530.

ZIMBACK, C.R.L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade do solo.** Botucatu: Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, 2001. 114p. Tese Livre- Docência.

### CAPÍTULO 3

#### 4. PROGRESSÃO TEMPORAL DO AMARELECIMENTO FATAL EM PLANTIO ORGÂNICO E CONVENCIONAL DE PALMA DE ÓLEO

##### RESUMO

O objetivo do trabalho foi ajustar modelo para a curva de progresso do amarelecimento fatal, na fase inicial dos casos e em condições naturais de infecção. O estudo foi realizado em cinco parcelas com plantio de palma de óleo, no município de Acará/PA. Foram avaliadas seis subparcelas (792 plantas) em cada parcela; as avaliações foram realizadas mensalmente nos anos de 2012 e 2013. A cada mês a incidência do AF era avaliada em cada planta, de acordo com a presença ou ausência do AF. A incidência máxima nos locais de estudo foi de 10.8%. O progresso do AF caracterizou-se por um lento aumento da quantidade de casos. Os modelos de regressão não linear possibilitaram ajustes adequados aos dados, sendo o modelo monomolecular o mais adequado para representar o avanço do AF na fase inicial.

**Palavras-chave:** *Elaeis guineensis*. Epidemiologia. Modelagem temporal.

##### PROGRESSION TIME OF FATAL YELLOWING IN ORGANIC AND CONVENTIONAL PLANTING OIL PALM

##### ABSTRACT

The objective of this study was to adjust model for the progress curve of fatal yellowing in the youth of the disease and natural conditions of infection. The study was realized in five installments with oil palm plantation in the municipality of Acará/PA. Evaluate six subareas (792 plants) on each parcel; evaluations were performed monthly for the years 2012 and 2013. Each month the incidence of AF was evaluated in each plant, according to the presence or absence of disease. The peak incidence in the study sites was 10.8%. The progress of the disease is characterized by a slow increase in the number of cases. The nonlinear regression models allowed adequate fit to the data, with the model monomolecular the most suitable to represent the AF forward the initial stage.

**Keywords:** *Elaeis guineensis*. Epidemiology. Temporal modeling.

#### 4.1. Introdução

O amarelecimento fatal (AF) é o principal problema fitossanitário em plantios de palma de óleo na América Latina. Segundo Brioso et al. (2008) o AF provoca a morte de plantas em qualquer fase do desenvolvimento, sendo fator de risco a atividade produtiva de *Elaeis guineensis* (Jacq).

O AF possui agente etiológico desconhecido e seus principais sintomas são: clorose dos folíolos basais das folhas mais jovens (3, 4, 5 e 6), que necrosam e secam, a partir da base dos folíolos. A morte da planta ocorre normalmente de 4 a 5 meses após o aparecimento dos sintomas de clorose (BRIOSO et al., 2008).

Na América do Sul, Colômbia, Panamá e Brasil já sofreram elevadas perdas de produção e grandes prejuízos financeiros. Segundo Boari (2008) o AF representa o principal entrave a expansão da cultura no Brasil. Na Amazônia brasileira, o Estado do Pará é o maior produtor de palma de óleo e onde ocorreu o primeiro registro de ocorrência do AF no Brasil.

Modelos epidemiológicos podem ser usados, entre outros fins, para a previsão de níveis futuros de doenças e elaboração de estratégias de controle da doença (MADDEN et al., 2007).

A melhor forma de representar a epidemia de uma doença é a curva de progresso que mostra a forma de avanço dos casos da doença ao longo do tempo. A curva de progresso da doença é expressa pela plotagem da proporção de doença versus tempo, é a melhor representação de uma epidemia (BERGAMIN FILHO et al., 1998). Estratégias de controle, níveis futuros de doença podem ser previstos e simulados com o uso de curvas de progresso da doença.

O conhecimento epidemiológico em condições controladas e naturais, visando elucidar os fatores que afetam os processos do ciclo da doença tem sido fundamental para dar base a estudos de modelagem das epidemias (DEL PONTE et al., 2006). O principal motivo para estudar o progresso de doença de plantas no campo é a maior segurança e confiabilidade nos modelos elaborados, favorecendo a determinação da curva de progresso da doença. Assim, os objetivos desse trabalho foram avaliar a evolução temporal do amarelecimento fatal e ajustar modelo para a curva de progresso da doença, em condições naturais de infecção, em área de cultivo orgânico e convencional de palma de óleo, no município de Acará, PA.

#### **4.2. Material e métodos**

As informações utilizadas na pesquisa foram coletadas nos anos de 2012 e 2013, em subparcelas de quatro parcelas, sendo duas de plantio orgânico e duas convencional, na fazenda palmares, município de Acará, no Estado do Pará, Brasil. A propriedade pertence à Companhia Palmares da Amazônia (CPA). A área utilizada no estudo possui coordenadas geográficas central (02° 16' 27" S; 48° 37' 29" W) e altitude de 18 m.

O clima é do tipo Ami, segundo a classificação de Köppen, com maiores precipitações nos meses de janeiro a maio e menores de agosto a novembro. A temperatura média anual é

de aproximadamente 26 °C e a umidade relativa do ar de 80%. Solo altamente intemperizados com predomínio de Latossolo (EMBRAPA, 2006).

A palma de óleo foi cultivada em parte da área de forma convencional e outra parte de forma compatível com o padrão orgânico de produção (FONSECA et al., 2009).

Nas diversas parcelas existe uma diversidade de material genético (Lame, Lame x Deli e Ghana) sendo cultivado com espaçamento de 9 m entre plantas (triângulo equilátero). A escolha da propriedade foi em função da existência de AF na fase inicial. A parcela selecionada possui cultivo homogêneo, com plantio feito em 2001 (plantio convencional) e 1996 (plantio orgânico). As informações sobre a ocorrência da doença foram coletadas durante 24 meses, iniciando em janeiro de 2012 e terminando em dezembro de 2013. Cada planta foi observada em busca dos sintomas típicos do AF (DRENTH et al., 2013). A presença ou ausência de sintomas em cada planta foram anotadas e serviram para montar um banco de dados.

Os valores mensais de plantas com sintomas de AF foram plotados em função do tempo, em cada parcela, e testado aos modelos: exponencial ( $y = y_0 \exp(rt)$ ), monomolecular ( $y = 1 - (1 - y_0) \exp(-rt)$ ), logístico ( $y = 1 / (1 + ((1/y_0) - 1) \exp(-rt))$ ) e de Gompertz ( $y = \exp(-(-\ln(y_0)) \exp(-rt))$ ), em que  $y$  = incidência (em proporção) no tempo  $t$ ,  $y_0$  = inóculo inicial da doença e  $r$  = taxa de infecção da doença para cada modelo.

A escolha do melhor modelo linearizado levou em consideração o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$ ), obtido da regressão linear entre os valores previstos (variável dependente) e observado (variável independente), conforme Bergamin Filho e Amorin (2002). Todas as análises foram realizadas utilizando o software Microsoft Office Excel® 2010.

### 4.3. Resultados e discussão

Os valores dos coeficientes de determinação ajustado ( $R^2$ ), desvio padrão do inóculo inicial ( $y_0$ ) e da taxa de infecção ( $r$ ), para o plantio orgânico estão dispostos na Tabela 8.

Com base nos dados do coeficiente de determinação observou-se que o modelo monomolecular foi o que apresentou melhor ajuste, nas subparcelas e parcelas.

As avaliações realizadas neste experimento permitiram a elaboração de curvas de progresso do AF ajustados aos dados de quatro modelos matemáticos não lineares.

Com base nos dados obtidos e apresentados na Tabela 8, observa-se que o modelo não linear que apresentou melhor ajuste aos dados para as parcelas avaliadas foi o monomolecular, seguido pelo modelo exponencial. Este resultado leva a crer que em ponto

distintos o AF evolui de forma diferente. Existindo locais que a doença avança de forma mais rápida.

Na Tabela 8 e 9, os resultados evidenciam que o modelo monomolecular ajustou a maioria das subparcelas. Na área de plantio convencional plantas com AF ocorreram em menor quantidade.

**Tabela 8** – Parâmetros de ajuste da curva de progresso do amarelecimento fatal (AF) em palma de óleo (orgânico), subparcelas, Acará/PA, 2012/13.

Parcela	Subparcela	Modelo	$y_0$	$r$	$R^2$
H13	1	Monomolecular	-0,1567	0,009	0,992
	4	Exponencial	-4,919	0,088	0,5625
	5	Gompertz	-2,054	0,4437	0,9849
	6	Exponencial	-5,026	0,1189	0,9062
H14	1	Monomolecular	-0,1835	0,01174	0,7415
	2	Exponencial	-8,3785	0,2099	0,9523
	3	Monomolecular	-0,0596	0,0056	0,9778
	5	Gompertz	-1,31	0,0338	0,9821
	6	Monomolecular	-0,012	0,0077	0,931

$y_0$ = inóculo inicial;  $R^2$  = coeficiente de determinação ajustado obtido da regressão linear;  $r$  = valores do desvio padrão do inóculo inicial.

Fonte: Autor, 2015.

Na parcela J25, subparcelas de 1 a 4, não foi constatado casos de AF que possibilitasse ajuste aos modelos descritos. Na parcela J6, subparcelas 2, 4, 5 e 6 ocorreu fato semelhante. Entretanto, nas demais subparcelas foi possível obter ajuste, sendo o modelo monomolecular o de melhor ajuste (Tabela 9).

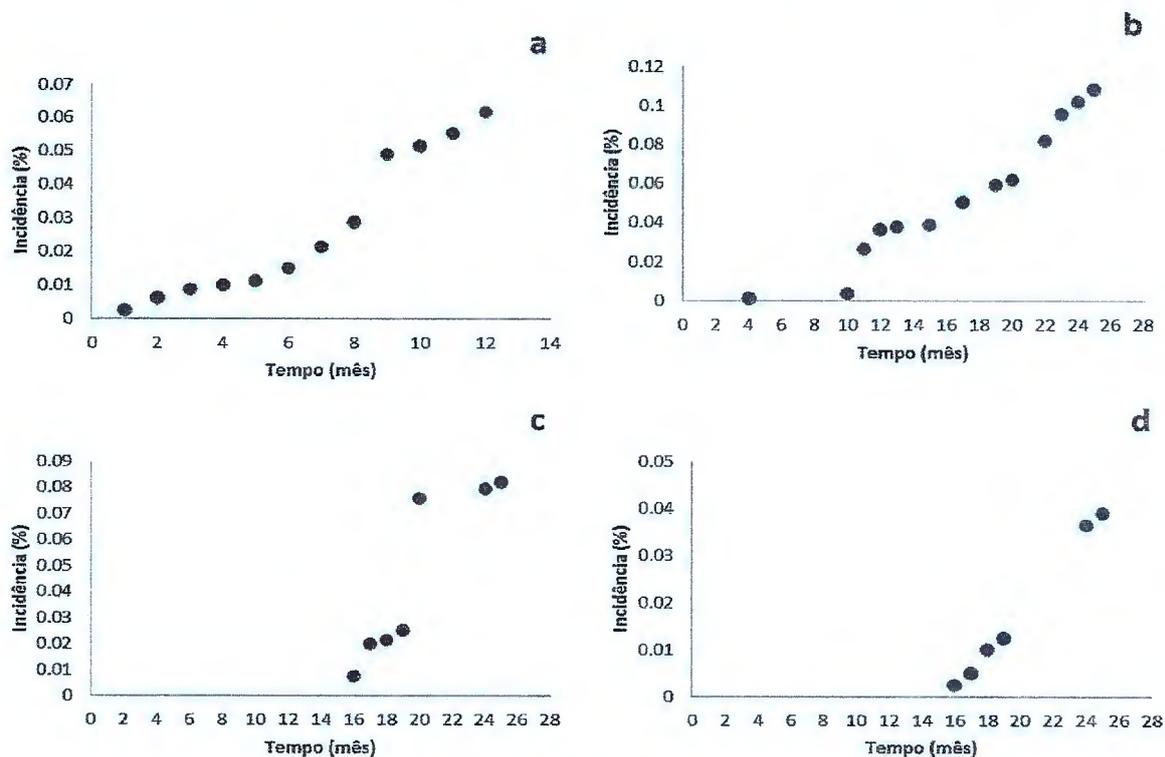
**Tabela 9** – Parâmetros de ajuste da curva de progresso do amarelecimento fatal (AF) em palma de óleo (convencional), subparcelas, Acará/PA, 2012/13.

Parcela	Subparcela	Modelo	$y_0$	$r$	$R^2$
J25	5	Monomolecular	-0,165	0,011	0,9071
	6	Monomolecular	-0,0796	0,0056	0,8613
J26	1	Monomolecular	-0,05	0,0039	0,8379
	3	Gompertz	-3,5498	0,11	0,9962

$y_0$ = inóculo inicial;  $R^2$  = coeficiente de determinação ajustado obtido da regressão linear;  $r$  = valores do desvio padrão do inóculo inicial.

Fonte: Autor, 2015.

**Figura 24** – Incidência do amarelecimento fatal (AF) nas parcelas: H13 (a), H14 (b), J25 (c) e J26 (d); Acará/PA, 2012/13.



Fonte: Autor, 2015.

O ajuste dos modelos: Logístico, Gompertz e Monomolecular, utilizados com o intuito de avaliar o progresso do AF de forma mais próxima à realidade (BERGAMIN FILHO, 2011), foi possível observar que a curva de progresso do AF ajustou-se ao modelo monomolecular, pois os valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foram superiores a 80%, levando ao ajuste satisfatório da curva de progresso do AF.

Nas parcelas H14, J25 e J26 o melhor modelo ajustado foi o monomolecular, na parcela H13 o modelo Logístico.

A incidência da doença afeta diretamente o modelo de ajuste. Locais com baixa incidência tendem a ajustar-se melhor ao modelo monomolecular.

A incidência de AF ao longo do tempo permitiu a análise temporal do progresso nas áreas de plantio orgânico e convencional.

**Tabela 10** – Resumo da análise de regressão linear para avaliação de quatro modelos de curvas de crescimento do amarelecimento fatal (AF) em palma de óleo em duas parcelas de cultivo orgânico, Acará/PA, 2012/13.

Parcela	Modelo	R <sup>2</sup>	y <sub>0</sub>	r <sup>2</sup>	DPR
H13	Exponencial	0,96	-6,637	0,1533	0,0677
	Monomolecular	0,77	-0,025	0,0031	0,0035
	Logístico	0,96	-6,662	0,1564	0,0703
	Gompertz	0,93	-2,003	0,0376	0,0223
H14	Exponencial	0,79	-6,412	0,1847	0,1929
	Monomolecular	0,93	-0,037	0,0057	0,0031
	Logístico	0,80	-6,449	0,1904	0,1927
	Gompertz	0,88	-1,962	0,0488	0,0363

Abreviações: R<sup>2</sup> = Coeficiente de determinação; e DPR = desvio padrão residual. Parâmetros recalculados por meio da regressão entre valores observados e valores estimados pelos modelos.

Fonte: Autor, 2015.

**Tabela 11** – Resumo da análise de regressão linear para avaliação de quatro modelos de curvas de crescimento do amarelecimento fatal (AF) em palma de óleo em duas parcelas de cultivo convencional, Acará/PA, 2012/13.

Parcela	Modelo	R <sup>2</sup>	y <sub>0</sub>	r <sup>2</sup>	DPR
J25	Exponencial	0,78	-8,056	0,2336	0,2087
	Monomolecular	0,82	-0,135	0,0091	0,0071
	Logístico	0,78	-8,191	0,2428	0,2145
	Gompertz	0,81	-2,579	0,0695	0,0572
J26	Exponencial	0,91	-9,912	0,2747	0,1764
	Monomolecular	0,99	-0,068	0,0044	0,0006
	Logístico	0,92	-9,980	0,2790	0,1761
	Gompertz	0,96	-2,743	0,0641	0,0287

Abreviações: R<sup>2</sup> = Coeficiente de determinação; e DPR = desvio padrão residual. Parâmetros recalculados por meio da regressão entre valores observados e valores estimados pelos modelos.

Fonte: Autor, 2015.

O modelo monomolecular tem sido mais indicado para patossistema de doenças monocíclicas (MADDEN et al., 2007), na qual o desenvolvimento da doença ao longo do tempo é mais influenciado pelo inóculo inicial do que pela transmissão planta a planta. Existindo condições específicas para sua ocorrência que seja influencia pelo ambiente, condições fisiológicas ou fase do ciclo da planta.

#### 4.4. Conclusões

1. O avanço do amarelecimento fatal (AF) nos primeiros vinte e quatro meses é de forma lenta, sendo em função do inóculo inicial e da taxa de infecção;
2. O modelo monomolecular apresentou o melhor ajuste aos dados transformados, podendo ser usado para estimar o avanço do AF na fase inicial.

#### REFERÊNCIAS

- BERGAMIN FILHO, A.; AMORIM, L.; LARANJEIRA, F.F.; BERGER, R.D.; HAU, B. Análise temporal do amarelecimento fatal do dendezeiro como ferramenta para elucidar sua etiologia. **Fitopatologia Brasileira**, v.23, n. 3, p.391-396, 1998.
- BERGAMIN FILHO, A.; AMORIM, L. Doenças com período de incubação variável em função da fenologia do hospedeiro. **Fitopatologia brasileira**. Brasília, v. 27, n. 6, p. 561-565, Nov. 2002.
- BERGAMIN FILHO, A. **Curva de progresso da doença**. In: Manual de Fitopatologia. Princípios e conceitos (Vol. I), Amorim, L.; Rezende, J. A. M.; Bergamin Filho, A.; Piracicaba: Editora Agronômica Ceres, p. 647-666, 2011.
- BOARI, A. DE J. Estudos realizados sobre o Amarelecimento Fatal do Dendezeiro (*Elaeis guineensis* Jacq.) no Brasil. **Embrapa Amazônia Oriental. Serie Documento: ISSN 1517-2201, Belém - PA, 2008.**
- BRIOSO, P.S.T.; MONTANO, H.G.; TRINDADE, D.R.; POLTRONIERI, L.S.; FURLAN JÚNIOR, J. **Etiologia do amarelecimento fatal do dendezeiro**. In: Luiz Poltronieri; Dinaldo Rodrigues Trindade; Israel Pereira dos Santos. (Org.). Pragas e doenças de cultivos amazônicos. 2 ed. Brasília (DF): Embrapa Informação Tecnológica, v. 1, p. 325-350, 2008.
- DEL PONTE, E.M.; GODOY, C.V.; CANTERI, M.G.; REIS, E.M.; YANG, X.B. Models and applications for risk assessment and prediction of Asian soybean rust epidemics. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 31, p.533-544, 2006.
- DRENTH, A.; TORRES, G.A.; MARTÍNEZ LÓPEZ, G. *Phytophthora palmivora*, la causa de la Pudrición del cogollo en la palma de aceite. **Revista Palmas**, v. 34, p. 87-94, 2013.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 306p. 2006.
- FONSECA, M.F.; BARBOSA, S.C.; COLNAGO, N.F.; DA SILVA, G.R. **Agricultura orgânica**. Introdução às normas, regulamentos técnicos e critérios para acesso aos mercados dos produtos orgânicos no Brasil. 2009.
- MADDEN, L.V.; HUGHES, G.; BOSH F.V.D. **The study of plant disease epidemics**. Minnesota: The American Phytopathological Society, 2007. 421p.

## CONCLUSÕES GERAIS

De maneira geral a distribuição espacial do AF na cultura da palma de óleo ocorre de forma agregada.

A distribuição temporal do AF indica que a doença ocorre formando reboleiras.

Através da Geoestatística foi possível ajustar modelo para determinar a distribuição espacial da doença nas parcelas estudadas.

Os modelos que melhor representaram a distribuição espacial do AF são: Gaussiano, Esférico e Exponencial, apresentando alcance variando entre 19,20 e 220,00 metros, indicando que o AF provavelmente tem origem biótica.

Pelos mapas de krigagem foi possível visualizar o progresso do AF nas parcelas de plantio orgânico e convencional. Evidenciando agregação de plantas doentes nas parcelas ocorrem em áreas próximas aos ramais de acesso e afastadas de córregos.

Dentro das parcelas a maior concentração de plantas doentes ocorre nas linhas de plantio e afastadas de áreas de reserva.

## GLOSSÁRIO

Abiótico – sem vida;

Agroecossistemas – são ecossistemas modificados pelo homem para melhor atender aos objetivos humanos, incluindo produção de alimento, fibra ou combustível por meio do uso controlado e deliberado de plantas e animais.

Alcance – é a diferença aritmética entre o maior e o menor valor em um conjunto; em análise geoestatística é a distância na qual o semivariograma estabiliza após o aumento dos valores de semivariância.

Amostragem – técnica de obtenção de uma série de observações que possibilitem representar de forma satisfatória o fenômeno estudado.

Anisotrópico – adjetivo para descrever a variabilidade espacial de um fenômeno com estruturas diferentes e direções específicas.

Biótico – vivo; associado a, causado por organismos vivos.

Cenário – é o resultado de um modelo de simulação numérica em que algumas entradas de dados devem ser fornecidas para se obter resultados de situações ainda não observadas.

Ciclo de vida – sucessivos estádios no crescimento e desenvolvimento de um organismo caracterizado pelo aparecimento e reaparecimento do mesmo estágio (ex. esporo) do organismo; séries progressivas de alterações que ocorrem nos organismos vivos.

Dado Geográfico – localidade no espaço com um valor relativo a um fenômeno.

Dano – qualquer redução na quantidade e ou qualidade da produção ou a diferença entre a produção possível e a produção real.

Dispersão – movimento dos propágulos do patógeno de sua origem em direção a um sítio de infecção.

Disseminação – ato de espalhar o inóculo do patógeno a partir de uma fonte, nas fases de disseminação, liberação, dispersão e deposição do propágulo do patógeno.

Doença – alterações morfológicas e fisiológicas na planta resultantes da interação entre patógeno, hospedeiro e ambiente.

Ecossistema – refere-se ao sistema como um todo, incluindo não somente o complexo de organismos, mas também o complexo de fatores físicos que compõem o ambiente do bioma e fatores do hábitat em seu sentido mais amplo.

Efeito Pepita – na krigagem e variografia, a parte da variância de uma variável regionalizada sem representação espacial (erro experimental e de densidade de amostragem).

Epidemiologia – é o estudo de populações de patógenos em populações de hospedeiros e da doença resultante desta interação, sob a influência do ambiente e a interferência humana.

Epidemia – aumento temporário na incidência ou severidade de uma doença infecciosa numa área definida; é a ciência da doença em populações.

Epidemia cíclica – refere-se a um surto epidêmico de uma doença normalmente endêmica.

Epidemia explosiva – é o aumento rápido na intensidade de doença.

Epidemia poliética – refere-se àquelas epidemias que necessitam de anos para causar aumento na intensidade de doença. Ocorre geralmente em hospedeiros perenes ou patógenos de solo, entretanto, o possível componente poliético de algumas doenças foliares não está bem estabelecido.

Epidemia progressiva – caracteriza o aumento em extensão de epidemias.

Escala – é a relação entre o tamanho de um objeto em um mapa e seu tamanho real.

GPS – (Global Positioning System), conjunto de satélites em órbita geoestacionária da Terra, organizados de forma a constituir uma rede de apoio para determinar a localização na superfície terrestre por meio de receptores eletrônicos.

Incidência de doença – número de unidades de plantas, ou de suas partes, expresso como porcentagem ou proporção do número total de unidades avaliadas.

Infecção – o estabelecimento do parasita dentro de uma planta hospedeira.

Infestação – relacionado a um grande número de insetos, nematóides, etc. em uma área ou lavoura. Também aplicado para superfície de plantas, solo, recipientes ou ferramenta contaminada com bactéria, fungos, etc.

Injúria – Qualquer sintoma visível causado por um organismo nocivo.

Inóculo inicial – propágulo do parasito com potencial de iniciar uma infecção.

Intensidade de doença – termo geral para referir-se à quantidade de doença presente numa população.

Krigagem Ordinária – método de interpolação de dados com a teoria das variáveis regionalizadas, em que os pesos das estimativas são obtidos do semivariograma ajustado aos dados.

Krigagem Simples – técnica de interpolação utilizada para estimar valores com base em regressão linear generalizada, sob pressuposição da estacionariedade de segunda ordem e média conhecida.

Limiar de dano – é a população mais baixa do patógeno para a qual algum dano pode ser esperado.

Malha – conjunto de pontos amostrais arranjos de forma regular no espaço.

Monociclo – termo utilizado para referir-se à um ciclo de produção de propágulos pelo patógeno.

Modelo – é a representação de atributos ou feições da superfície da terra em uma base digital; um conjunto de algoritmos codificados em computador para descrever a variabilidade espacial de um processo físico ou fenômeno natural da superfície terrestre; uma função ajustada a dados para representar observações.

Modelo de Dados Geográficos – esquema formal de representação de dados com localização e características.

Patossistema – é um subsistema de um ecossistema definido pelo fenômeno do parasitismo.

Perda – redução em retorno financeiro causado por organismos nocivos, por unidade de área.

Precisão – refere-se ao grau de exatidão ou de refinamento de uma medida; grau de acurácia de uma representação numérica; número de dígitos significativos; grau de variação de uma observação com relação a sua média.

Previsão – refere-se a probabilidade do surgimento ou aumento na intensidade de doença embasada em informações sobre o clima, hospedeiro e patógeno. Na previsão é importante conhecer os fatores mais relevantes que interagem no sistema.

Probabilidade – refere-se à quantificação da provável ocorrência de um evento.

Programa – conjunto de informações codificadas em computador e organizadas para realizar determinada tarefa.

Policiclo – termo utilizado para referir-se à pelo menos dois ciclos de infecção do patógeno numa estação de cultivo.

Progresso Espacial de Doença – é a variabilidade espacial de doença.

Sistema – é o comportamento como um todo em resposta a estímulos dirigidos a qualquer parte.

Sistema de Informação Geográfica (SIG) – conjunto de ferramentas computacionais para capturar, armazenar, recuperar, transformar e projetar dados espaciais.

Simulação – é a representação de um sistema real e condução de experimentos com o propósito de entender seu comportamento ou realizar avaliações.

Semivariograma – gráfico da semivariância versus a distância; constitui uma série de funções matemáticas que possibilitam ajustar pontos a modelos esféricos, exponenciais, gaussianos, lineares, etc.

Unidade amostral – menor unidade de avaliação experimental.

Variável regionalizada – função aleatória definida a partir de uma medida de um fenômeno natural no espaço de acordo com conjunto de coordenadas em escala que possibilite sua representação analítica.

Variabilidade espacial – distribuição da variável ao longo do espaço.