

PROD. TEC. ITV DS - N009/2018

DOI: 10.29223/PROD.TEC.ITV.DS.2018.9.Sá

PRODUÇÃO TÉCNICA ITV DS

**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DO AMARELECIMENTO FATAL DA PALMA DE
ÓLEO (*Elaeis guineensis* Jacq.), MOJU – PA.**

Núbia Maia e Sá

Humberson Rocha Silva

Edson Pozza

Rafael Borges da Silva Valadares

Junho/2018

Belém/PA

Título: ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DO AMARELECIMENTO FATAL DO DENDEZEIRO (<i>ELAEIS GUINEENSIS</i> JACQ.), MOJU – PA.	
PROD. TEC. ITV DS - N009/2018	Revisão
Classificação: () Confidencial () Restrita () Uso Interno (x) Pública	00

Informações Confidenciais - Informações estratégicas para o Instituto e sua Mantenedora. Seu manuseio é restrito a usuários previamente autorizados pelo Gestor da Informação.

Informações Restritas - Informação cujo conhecimento, manuseio e controle de acesso devem estar limitados a um grupo restrito de empregados que necessitam utilizá-la para exercer suas atividades profissionais.

Informações de Uso Interno - São informações destinadas à utilização interna por empregados e prestadores de serviço

Informações Públicas - Informações que podem ser distribuídas ao público externo, o que, usualmente, é feito através dos canais corporativos apropriados

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S111	<p>Sá, Núbia Maia e Análise espaço-temporal do amarelecimento fatal da palma de óleo (<i>Elaeis guineenses</i> Jacq.), Moju – PA. / Núbia Maia e Sá, Humber som Rocha Silva, Edson Pozza, Rafael Borges da Silva Valadares – Belém, PA: 2018. 52 f.: il.</p> <p>1. Amarelecimento fatal – Palma de óleo. 2. Epidemiologia. 3. Análise espaço-temporal. I. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDD 363.7063</p>
------	--

Bibliotecária responsável: Nisa Gonçalves - CRB 2 - 525

RESUMO

A palma de óleo é reconhecida mundialmente por produzir o óleo de dendê. No cenário atual ele responde por mais de um terço do total de óleo consumido no mundo, sendo a fonte oleaginosa mais utilizada nas indústrias. Entre os diversos problemas fitossanitários desta cultura destaca-se o Amarelecimento Fatal (AF). Doença ainda de etiologia desconhecida, caracteriza-se por lesões necróticas na folha ainda no estágio de flecha. Estas lesões vão aumentando e tomam características de podridões. Com o objetivo de avaliar a dinâmica do comportamento do distúrbio AF, entendendo sua possível causa, foi avaliada a sua distribuição no espaço e no tempo. Na análise temporal dos dados de incidência de AF, ficou evidente o aumento da frequência do AF e do progresso da doença ao longo dos anos de cultivo, comprovada com alta significância estatística. A geoestatística, de ambas as fazendas estudadas, mostrou que os novos relatos da doença progrediram ao longo de 4 anos, porém de forma aleatória ou sem dependência espacial. A análise da estrutura de focos da doença corroborou com o resultado encontrado na análise de geoestatística, mostrando que a maioria dos focos foram unitários, sugerindo o envolvimento de fatores não bióticos na caracterização desta doença.

Palavras-chave: Amarelecimento Fatal, Geoestatística, Estrutura de Focos.

ABSTRACT

Oil palm is recognized worldwide for its oil production. In the current scenario, it accounts for more than a third of the total oil consumed in the world, being the most used oil source in industries. Among the several phytosanitary problems of this culture stands out Fatal Yellowing (FY). A disease of unknown etiology characterized by necrotic lesions in the leaf still in the arrow stage. These lesions increase and take on characteristics of rot. In order to evaluate the dynamics FY disorder, understand its possible cause, its distribution in space and time was evaluated. In the temporal analysis of the data of FY incidence, it was evident the increase in the frequency of FY and the progress of the disease throughout the years of cultivation, proven with high statistical significance. Geostatistics, from both farms studied, showed that the new reports of the disease progressed over 4 years, but at random or without spatial dependence. The analysis of the foci structure of the disease corroborated with the results found in the geostatistical analysis, showing that the majority of the outbreaks were unitary, suggesting the involvement of non-biotic factors in the characterization of this disease.

Key words: Fatal Yellowing, Geostatistics, Foci Structure

LISTA DE FIGURA

Figura 1 - Mapa das fazendas Amanda e Bethânia (direita) e suas respectivas parcelas de plantio do dendezeiro, Moju-PA.....	19
Figura 2 - Distribuição das classes de frequência, com intervalo de 5%, do amarelecimento fatal (AF) entre os anos de 2012 e 2015, Moju, PA.	25
Figura 3 - Representação do ajuste do modelo Logístico, com três parâmetros aos dados reais da epidemia do Amarelecimento Fatal do Dendezeiro em Moju, PA, no período de 2012 a 2014.	27
Figura 4 - Modelo linear ajustado para a taxa de progresso do Amarelecimento Fatal (AF) do dendezeiro, Fazendas Amanda e Bethânia.....	29
Figura 5 - Modelo de Gompertz ajustado para a curva de progresso do Amarelecimento fatal do dendezeiro. Fazenda Amanda, Moju, PA.	31
Figura 6 - Modelo de Gompertz ajustado para a curva de progresso do Amarelecimento fatal do dendezeiro. Fazenda Bethânia, Moju, PA.....	31
Figura 7 - Semivariogramas com ajuste do modelo efeito pepita puro aos dados de incidência da doença na fazenda Bethânia, parcela A3, anos 2011 a 2014.	33
Figura 8 - Mapas de probabilidade de incidência da doença na fazenda Bethânia, parcela A3, anos de 2011 a 2014, construídos sob o modelo efeito pepita puro.....	34
Figura 9 - Semivariogramas com ajuste do modelo efeito pepita puro aos dados de incidência da doença na fazenda Amanda, parcela A1, anos 2011 a 2014.....	35
Figura 10 - Mapas de probabilidade de incidência da doença na fazenda Amanda, parcela A1, anos de 2011 a 2014, construídos sob o modelo efeito pepita puro.....	36
Figura 11 - Semivariogramas com ajuste do modelo exponencial aos dados de incidência da doença na fazenda Amanda, parcela A2, anos 2012 a 2014, e parcela C1, ano 2014.	37
Figura 12 - Mapas de probabilidade de incidência da doença na fazenda Amanda, parcelas A2, anos 2012 a 2014, e C1, ano 2014, construídos sob o modelo exponencial.	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação dos graus de aleatoriedade.....	22
Tabela 2 - Modelos de regressão linear ajustados para os dados linearizados de incidência anual do Amarelecimento fatal do dendezeiro na fazenda Amanda, no período de 2012 a 2014.....	26
Tabela 3 - Modelos de regressão linear ajustados para os dados linearizados de incidência anual do Amarelecimento fatal do dendezeiro na fazenda Bethânia, no período de 2012 a 2014.....	26
Tabela 4 - Modelos de regressão não lineares com três parâmetros, ajustados para à incidência anual do Amarelecimento fatal do dendezeiro no período de 2012 a 2014.	27
Tabela 5 - Modelos de regressão linear ajustados para os dados linearizados de incidência mensal do Amarelecimento fatal do dendezeiro nas fazendas Amanda e Bethânia, no período de janeiro a dezembro de 2013, Moju-PA.....	28
Tabela 6 - Modelos de regressão linear ajustados para os dados linearizados de incidência mensal do Amarelecimento fatal do dendezeiro nas fazendas Amanda e Bethânia, no período de janeiro a dezembro de 2014, Moju-PA.....	28
Tabela 7 - Modelos de regressão não linear ajustados para os dados da curva de progresso de incidência mensal do Amarelecimento fatal do dendezeiro na fazenda Amanda, no período de janeiro a dezembro de 2013 e 2014.	30
Tabela 8 - Modelos de regressão não linear ajustados para os dados da curva de progresso de incidência mensal do Amarelecimento fatal do dendezeiro na fazenda Bethânia, no período de janeiro a dezembro de 2013 e 2014.	30
Tabela 9 - Resultados da validação cruzada para o modelo efeito pepita puro na parcela A3 da fazenda Bethânia, nos anos de 2011 a 2014.	33
Tabela 10 - Resultados da validação cruzada para o modelo efeito pepita puro na parcela A1 da fazenda Amanda, nos anos de 2011 a 2014.	35
Tabela 11 - Resultados da validação cruzada para os modelos esférico, exponencial e gaussiano na parcela A2, anos 2012 a 2014, e na parcela C1, ano 2014, da fazenda Amanda.....	37
Tabela 12 - Estimativas dos valores de efeito pepita (C0), contribuição (C1) e alcance (A0, em metros) para o modelo exponencial ajustado aos dados de incidência da doença nas parcelas A2 (anos 2012 a 2014) e C1 (ano 2014), e componente aleatória e grau de dependência espacial (GDE) presente nos dados.....	37
Tabela 13 - Número de focos por 1000 plantas (NFM), número de focos unitários por 1000 plantas (NF1M), percentagem de focos unitários (%FU), número médio de plantas por foco (NMPP) e incidência (%) do Amarelecimento fatal do dendezeiro na fazenda Bethânia.	40

Tabela 14 - Índice médio de forma de focos (IFF), índice médio de compactação de focos (ICF), índice médio de forma de focos não unitários (IFFNU) e índice médio de compactação de focos não unitários (ICFNU) do Amarelecimento fatal do dendezeiro na fazenda Bethânia.41

Tabela 15 - Número de focos por 1000 plantas (NFM), número de focos unitários por 1000 plantas (NF1M), percentagem de focos unitários (%FU), número médio de plantas por foco (NMPF) e incidência (%) do Amarelecimento fatal do dendezeiro na fazenda Amanda.42

Tabela 16 - Índice médio de forma de focos (IFF), índice médio de compactação de focos (ICF), índice médio de forma de focos não unitários (IFFNU) e índice médio de compactação de focos não unitários (ICFNU) do Amarelecimento fatal do dendezeiro na fazenda Amanda.42

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	10
2.1	A CULTURA DA PALMA DE ÓLEO	10
2.2	AMARELECIMENTO FATAL	11
2.3	HIPÓTESES DA ETIOLOGIA	13
2.4	PROCESSOS EPIDEMIOLÓGICOS.....	14
2.5	ANÁLISE TEMPORAL	15
2.5.1	Epidemiologia descritiva	15
2.5.2	Progresso da doença	16
2.6	ARRANJO ESPACIAL DAS DOENÇAS	16
2.6.1	Análise geoestatística	17
2.6.2	Análise da dinâmica e estrutura de focos	17
3	OBJETIVO	18
4	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	18
4.1	ANÁLISE TEMPORAL	19
4.1.1	Epidemiologia descritiva	19
4.1.2	Progresso da doença	20
4.2	ARRANJO ESPACIAL DAS DOENÇAS	21
4.2.1	Análise geoestatística	22
4.2.2	Análise da dinâmica e estrutura de focos	23
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
5.1	EPIDEMIOLOGIA DESCRITIVA	24
5.2	PROGRESSO DA DOENÇA	25
5.3	ANÁLISE GEOESTATÍSTICA	32
5.4	ANÁLISE DA DINÂMICA E ESTRUTURA DOS FOCOS DO AMARELECIMENTO FATAL.....	40
6	CONCLUSÕES	44
7	RECOMENDAÇÕES	45
8	BENEFÍCIOS POTENCIAIS	45
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46
	ANEXOS	52

1 INTRODUÇÃO

A palma de óleo, *Elaeis guineensis*, é uma planta originária da África (ALVES, 2007). Os países do Sudeste Asiático (Malásia e Indonésia) são os maiores produtores mundiais da palma de óleo. A produção de óleo de palma no Brasil é de apenas 220 mil toneladas, pouco representativo na escala mundial, cuja produção alcança os 43 milhões de toneladas. As maiores parcelas de cultivo estão situadas na região amazônica, sendo o estado do Pará o maior produtor brasileiro, responsável por 80% da produção nacional, é o que apresenta maior potencial de exploração, com terras agricultáveis delimitadas pelo zoneamento agroecológico da cultura, condições edafoclimáticas adequadas e concentra as maiores empresas do ramo (ALVES, 2011). Atualmente, o produto responde por mais de um terço do total do óleo consumido no mundo, sendo a fonte oleaginosa mais utilizada na indústria alimentícia (BERTONE, 2011).

Da palma de óleo, no Brasil popularmente conhecida como dendê, podem ser extraídos dois tipos de óleo: o óleo de palma e de palmiste, sendo esse último com características especiais, conferindo-lhe grande versatilidade, o que possibilita ótima aceitação por indústrias mundiais diversas (TRINDADE *et. al.*, 2005). Esta cultura tem sua produção afetada por algumas doenças. A principal delas é o Amarelecimento Fatal (AF) que tem causado perdas econômicas diretas nos países produtores (CORLEY, 2015). As perdas registradas pelo AF no Brasil ultrapassam 7000 hectares e na Colômbia, o distúrbio com características semelhantes ao AF, atingem aproximadamente 67000 hectares de plantio de palma de óleo (TORRES, 2016).

O AF é uma doença de etiologia desconhecida e se caracteriza pelo aparecimento de lesões necróticas nas folhas flechas, seguidas de um amarelecimento dos folíolos das folhas mais jovens, podendo chegar à seca total da planta, cuja morte impede a produção de cachos. Durante a tentativa de recuperação natural da planta pode ocorrer à remissão de folhas, porém a produtividade de cachos é muito baixa. A ocorrência da remissão temporária da planta é seguida do declínio generalizado e morte (BOARI, 2008).

Para outros autores, casos menos severos de AF não levam a morte das plantas e muitos dendezeiros afetados recuperaram-se e apresentam produtividades próximas a do normal, mesmo voltando a desenvolver novos sintomas da doença. Vários trabalhos já foram realizados com o objetivo de determinar a causa ou o agente causal do AF do dendezeiro, porém sem sucesso. Não foi encontrada ainda nenhuma correlação comprovada com insetos, problemas fisiológicos, solo ou fungos fitopatogênicos (TORRES *et. al.*, 2010a; BERNARDES *et. al.*, 2000; NASCIMENTO *et. al.*, 2018).

Os estudos descritivos de progresso de doença informam sobre a frequência e a distribuição de um evento. Os modelos matemáticos e estatísticos são alternativas para descrever os processos

epidemiológicos, simular epidemias, prever a intensidade de doenças, quantificar danos e perdas, estabelecer relações entre variáveis ambientais, o comportamento da doença através do progresso de epidemias no tempo e no espaço, entre outras aplicações. A caracterização da severidade ou da incidência de doenças ao longo do tempo é de fundamental importância para epidemiologia e descrição da dinâmica da doença (MAC MAHON & PUGH, 1975).

Além da análise temporal de doenças é também necessário conhecer o padrão de distribuição espacial de uma doença. O entendimento da dinâmica de epidemias, principalmente quanto ao padrão do inóculo inicial, os mecanismos de dispersão do patógeno, o efeito de práticas biológicas e culturais, bem como o efeito de fatores ambientais na infecção e dispersão de patógenos e doenças, auxiliam no desenvolvimento de hipóteses biológicas e ambientais plausíveis (JEGER, 1989; CAMPBELL & MADDEN, 1990).

O objetivo deste trabalho é avaliar a forma de disseminação do Amarelecimento Fatal, mostrando se tem um comportamento de fator biótico ou abiótico, nas parcelas estudadas além de contribuir para a identificação da natureza etiológica do agente causal e/ou fator precursor de dispersão da doença.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A CULTURA DA PALMA DE ÓLEO

O dendezeiro, é uma palmácea originária da costa ocidental da África (Golfo da Guiné). No Brasil, foi introduzida inicialmente no estado da Bahia no século XVI, trazidas por escravos africanos (ALVES, 2007) e, posteriormente, na região amazônica, onde estão inseridas as maiores áreas de cultivo atualmente (VENTURIERI *et. al.*, 2009).

Planta monocotiledônea (atual Classe Liliopsida), pertencente à família *Arecaceae*, possui inflorescências masculinas e femininas em ciclo alternado de duração regido por fatores genéticos, idade e condições ambientais. Sob estresse, há tendência de formar inflorescências masculinas (CORLEY, 2015). Possui estipe anelado e ereto, podendo alcançar 15 metros. Os frutos são do tipo drupa, os quais se desenvolvem bem em clima tropical úmido (CARVALHO, 2001). Suas folhas são trímeras e o perianto é facilmente diferenciado por pétalas e sépalas (DRANSFIELD & UHL, 2008).

Do dendezeiro são extraídos industrialmente da polpa do fruto e da amêndoa os óleos de palma e de palmiste, respectivamente. Segundo Trindade *et. al.* (2005), as características especiais dos óleos derivados da palma são textura macia, não possui odores, contém conservantes naturais, apresenta maior rendimento se comparado aos demais óleos, conferem-lhe grande versatilidade, o que possibilita sua aceitação por indústrias mundiais diversas.

Atualmente, a palma de óleo responde por mais de um terço do total do óleo consumido no mundo (BERTONE, 2011), sendo a fonte oleaginosa mais utilizada na indústria alimentícia por ser o

melhor substituto da gordura “trans” e fonte das vitaminas A e E. Está presente em produtos de higiene e lubrificantes e tem sido empregado na fabricação de biocombustível, servindo de fonte energética nos principais países asiáticos como a Malásia e Indonésia (ALVES, 2011).

A cultura possui elevada produção de óleo por unidade de área. A produtividade média de óleo de palma varia entre 4 a 5 toneladas por hectare/ano (MOURA *et. al.*, 2000) e de óleo de palmiste de 1 a 1,5 toneladas por hectare/ano (MULLER & ALVES, 1998). Possui alta capacidade fotossintética com acúmulo de biomassa, parte aérea e sistema radicular (VIEGAS & MULLER, 2000). Sua produção de matéria seca aérea é superior à de florestas tropicais e temperadas (DUFRENE & SAUGIER, 1993). Estas características implicam no reduzido impacto ambiental desta cultura devido à proteção do solo contra processos erosivos. O cultivo de dendezeiro também apresenta potencial para o sequestro de carbono, pode ser explorada em longo prazo, de 20 a 25 anos e possui alto potencial de produção de óleo (MULLER, 1998). O dendezeiro é o segundo cultivo do mundo com maior importância na mitigação do efeito estufa, só perdendo para o cultivo de eucalipto, sendo uma cultura promissora para o cenário ecológico e energético (VIEGAS & MULLER, 2000). Segundo Boddey (2003), se 30% das áreas desflorestadas da região amazônica fossem exploradas com a oleaginosa, haveria possibilidade de suprir 460 mil barris de óleo diesel consumido diariamente no país, além disto, existe uma tendência de aumentar os postos de ocupação de mão-de-obra nas regiões de produção do biodiesel. Embora o dendê seja cultivado em diferentes tipos de solos, variações nas propriedades físicas e químicas causam diferenças significativas na produção. Os parâmetros mais importantes são profundidade, textura franca agrilosa, permeabilidade moderada, relevo plano ou suave ondulado, não pedregoso, sem concreções de ferro, alumínio ou manganês e sem camada adensada (SOUZA JUNIOR, 2011).

Como ocorre em todas as monoculturas extensivas desenvolvidas na região tropical úmida, o cultivo do dendê está sujeito à infestação de pragas e ocorrência de doenças (MEDEIROS & SANO, 1988), o que impacta como fator limitante à expansão das culturas. Além de provocarem a morte da planta e a perda de grandes áreas de plantio, a incidência de pragas e doenças causa prejuízos na economia dos países que cultivam o dendê por reduzirem significativamente a produção. As principais pragas que infestam a cultura são as brocas: *Rhynchophorus palmarum* e *Eupalamides cyparissias*. Entre as doenças podem ser destacadas o anel vermelho causada pelo nematoide *Bursaphelenchus cocophilus*, marchitez sorpresiva tendo o protozoário flagelado *Phytomonas sp.* como agente causal e algumas podridões (estipe, basal) e o Amarelecimento Fatal com causas ainda desconhecidas.

2.2 AMARELECIMENTO FATAL

Os primeiros casos de amarelecimento fatal do dendezeiro, relatados em 1920, foram publicados com o nome de podridão de flecha no Suriname, sete anos depois o Panamá relatou plantas

doentes com o mesmo sintoma desta podridão. A partir de então epidemias de podridão de flecha foram subsequentemente relatadas na Venezuela na década de 1950, Colômbia na década de 1960, Equador e Brasil na década de 1970 e Peru na década de 1980 (TUNER, 1981).

Diversas doenças foram relatadas em todas as áreas onde a palma de óleo é plantada, porém a podridão de flecha é a mais importante na indústria de óleo de palma da América Latina (MARIAU, 2001). Uma vez que a podridão de flecha apareceu em diferentes países da América Latina, em diferentes cultivares de dendê e em diferentes estágios de desenvolvimento de plantio e na ausência de um agente causal definido, recebeu nomes diferentes, incluindo podridão del cogolho, podridão de flecha, podridão do meristema, amarelecimento fatal, folha pequena e doença da coroa (TUNER, 1981). Tores *et. al.* (2016) fizeram observações cuidadosas e estudos experimentais de infecção e mostraram que todos os sintomas descritos sob diferentes nomes refletem diferentes estágios de expressão de sintomas do mesmo problema fitossanitário.

Os primeiros registros de casos do AF no Brasil foram relatados em 1974 no estado do Pará nas empresas Denpasa, localizada em Paricatuba. Em 1988 os casos de AF se dispersaram, devastando aproximadamente 2.000 hectares dos 5.000 hectares totais pertencentes à empresa (VAN SLOBBE, 1990; MARIAU *et. al.*, 2001), porém as pesquisas sobre a doença tiveram início apenas 1986, os resultados destes estudos possibilitaram a descrição dos sintomas característicos do AF, as altas incidências nos plantios da Denpasa ocasionaram a extinção dos cultivos no final do ano 2000 (BOARI, 2008).

O Amarelecimento Fatal ainda de etiologia desconhecida tem seus primeiros sintomas notados na folha ainda no estágio de flecha, são pequenas lesões necróticas que se apresentam na parte interna das flechas. Estes danos vão aumentando e tomando as características de podridões. Paralelamente ao surgimento destes pontos necróticos, as folhas (3, 4, 5 e 6) que estão localizadas no do primeiro anel de folhas, podem apresentar uma coloração amarelada e seca dos folíolos rudimentares. Os sintomas mais avançados são caracterizados pela necrose total da folha flecha, que em algumas plantas, pode atingir o meristema central levando à mesma a morte e conseqüentemente a não produção de cachos. De acordo com Boari (2008) em algumas palmas pode ocorrer à remissão de folhas, porém a produção de cachos é insignificante, pois o sistema radicular já se encontra comprometido em decorrência do aparecimento dos primeiros sintomas do AF.

Existem diferentes classificações para os níveis de infecção do distúrbio. Souza *et. al.* (2000) consideram uma escala de notas para diferentes graus de severidade variando de 1 a 10. O grau 1 caracteriza-se por um amarelecimento dos folíolos basais das folhas jovens, que já mostram um tom verde pálido, os sintomas na folha flecha são visíveis a partir do grau 2 quando o processo de murcha das flechas tem início, nos graus mais avançados nota-se uma necrose generalizada das folhas mais novas e da flecha, podendo a planta secar em sua totalidade, que seria a último nível de severidade

(grau 10). Durante toda a fase evolutiva, a parte interna da planta não apresenta sintomas diferenciados dificultando a correlação para identificação da etiologia.

Pesquisadores da FEDEPALMA consideram as escalas de 1 a 6 para classificarem a doença em estágios de infecção. A caracterização do Amarelecimento Fatal Grau 1 é quando lesão abrange até 19% das flechas, no grau 2 o dano ocupa de 20 a 39% da flechas, no grau 3 a lesão afeta 40 a 59% das flechas, nestes três estágios de infecção geralmente não ocorre abortamento dos cachos e inflorescências e as próximas folhas podem apresentar uma coloração amarelada. Os graus mais avançados afetam de 60 a 100%, geralmente apresentam abortamento de cachos e inflorescências e as folhas próximas às flechas tornam-se amareladas, seguidas de necrose, no grau 4 a lesão abrange de 60 a 79% das flechas, no grau 5 a necrose ocupa 80 a 90% das flechas e no grau 6 as flechas são afetadas totalmente.

Apesar de se classificar em níveis de infecção a síndrome que afeta os dendezeiros, a não determinação da causa do amarelecimento fatal por meio de uma comprovação de que a mesma seja de causa biótica ou abiótica continua sendo um desafio para os pesquisadores e produtores. Uma das soluções para que o AF não inviabilize a dendeicultura no Pará e no Brasil depende da continuidade dos trabalhos de pesquisas em áreas de ocorrência da doença, que hoje ainda são poucas e restritas (MULLER *et. al.*, 1998).

2.3 HIPÓTESES DA ETIOLOGIA

O envolvimento de patógenos como agentes causais do AF é uma hipótese bastante estudada, ainda sem resultados conclusivos. A pesquisa desenvolvida por Sales (2011) sobre a distribuição do amarelecimento fatal do dendezeiro no nordeste paraense propõe que a doença tenha origem biótica. Brioso *et. al.* (2008) relataram a associação de fitoplasmas, pertencentes ao grupo 16SrIV, como agente causal do AF. A mais recente pesquisa patológica sobre o AF, conduzida por Torres *et. al.* (2010b), mediante um protocolo experimental semelhante ao de Duff (1963), aponta apenas para o oomiceto (pseudofungo) *Phytophthora palmivora* como o agente causal do transtorno, no entanto tal hipótese não cumpriu os postulados de Koch. Já Bernardes *et. al.* (2000) isolaram vários fungos de folhas (*Pestalotiopsis* sp., *Phomopsis* sp., *Fusarium* sp., *Colletotrichum gloeosporioides*, *Thielaviopsis paradoxa* e *Curvularia* sp.), estipe (*Pestalotiopsis theae* e *Pseudallescheria boydii*) e raiz (*P. boydii*, *Trichoderma* sp.) e *Lasiodiplodia pseudotheobromae*, mas nenhum reproduziu o sintoma de amarelecimento fatal.

Van De Lander (1999) utilizaram a geoestatística para analisar a variação espacial da doença em plantações do Suriname. Os resultados por eles obtidos foram compatíveis com a hipótese de a doença ser infecciosa, sendo disseminada pelo vento, visto que a disseminação da doença se dava no sentido dos ventos predominantes da região.

Todavia alguns trabalhos realizados indicam algum fator abiótico para a causa do AF, direta ou indiretamente relacionados com a síndrome. Esses trabalhos sugerem que a doença seja causada por solos mal drenados, que provocavam encharcamento ou deficiência nutricional. Douglas Laing em 2012 apontou a acidificação progressiva dos solos cultivados e considerou que este poderia ser um dos fatores mais críticos para o declínio da saúde das raízes e da rizosfera em sistemas intensivos, ele discute que a deficiência transitória de cálcio (Ca) tem um papel primordial na causa do AF. Duff (1963) aponta a bactéria saprofítica *Erwinia lathyri* como agente causal do AF, este autor e Silva *et. al.* (1996) indicam que as palmeiras afetadas estão subnutridas e, por conseguinte, não estão saudáveis antes da invasão dos micro-organismos saprofíticos responsáveis pela podridão dos tecidos apicais da planta. Já Alvaro Acosta e Fernando Munévar (2013) sugerem que o AF seja causado por um complexo de organismos fúngicos e seu desenvolvimento é regulado pelas interações entre a planta, patógenos e meio ambiente.

Diversas pesquisas já foram realizadas relacionando características físicas e hídricas do solo com a ocorrência do AF (RODRIGUEZ, *et. al.*, 2000; CHINCHILLA, 2008) e das possíveis interações entre as características físicas com as características químicas do solo nos dendezais (MUNIZ, *et. al.*, 2011), entretanto, os resultados não foram conclusivos, apenas indicativos de que áreas com reduzida drenagem e próximas a cursos de água possuem maior incidência de plantas com sintomas de AF. As condições físico-hídricas do solo e sua relação com a incidência do amarelecimento fatal e estado nutricional da palma de óleo também vem sendo estudadas por Teixeira *et. al.* (2010). Estudos recentes com o objetivo de identificar mudanças nos perfis protéicos em plantas de dendê afetadas pelo amarelecimento fatal sugerem que as mudanças nos fatores abióticos proporcionam o desenvolvimento da doença e a exposição das plantas em condições anaeróbicas permite um ambiente favorável para o estabelecimento de agentes patogênicos oportunistas sendo estes os responsáveis pelo declínio da planta afetada (NASCIMENTO *et. al.*, 2018).

Bergamin *et. al.* (1998) concluíram que a condição do AF é abiótica na natureza, porque o distúrbio não está em conformidade com qualquer padrão estabelecido, nem quanto à aparência, nem quanto ao crescimento dos focos, mas houve maior presença de palmeiras sintomáticas nas margens dos córregos, ou seja, a distribuição espaço-temporal não possui padrão característico de doenças fitopatogênicas. No Brasil as pesquisas acerca da causa do AF vêm sendo discutida por Boari (2008), mas ainda não há solução eficaz, apenas indícios que apoiam os estudos realizados por Laing (2012).

2.4 PROCESSOS EPIDEMIOLÓGICOS

Uma doença de planta é caracterizada como a interação de um patógeno, a planta hospedeira e o ambiente que ela está inserida. No caso do AF, o resultado final dessa interação será o aparecimento da lesão. Todos os eventos que ocorrem desde o primeiro contato entre o patógeno e o hospedeiro até

a necrose da lesão constituem o ciclo de infecção (VAN DER PLANK, 1963). A superposição de ciclos de infecção dá origem à epidemia, o que Gäumann (1950) chamou de cadeia de infecção. Cadeia de infecção caracteriza-se pela ocorrência de diversos ciclos de infecção do patógeno durante um único ciclo de cultivo do hospedeiro.

Os modelos matemáticos e estatísticos são alternativas para descrever os processos epidemiológicos, simular epidemias, prever a intensidade de doenças, quantificar danos e perdas, estabelecer relações entre variáveis ambientais, o comportamento da doença através do progresso de epidemias no tempo e no espaço, entre outras aplicações.

Patógenos de plantas possuem diferentes agentes de dispersão como o vento, a água, vetores, material vegetal contaminado, ou o homem com suas ferramentas e suas máquinas. Considerando-se epidemias como o aumento da intensidade de doenças em tempo e espaço, é importante associar a dinâmica espacial aos estudos temporais (MAFFIA; MIZUBUTI, 2005).

2.5 ANÁLISE TEMPORAL

A quantidade de plantas infectadas fornece uma boa avaliação do progresso de epidemias. Na maioria das doenças de plantas existem sintomas que são observáveis, os quais nos permitem contar o número de plantas infectadas ou estimar a quantidade de tecido infectado. Existe um atraso entre a ocorrência da infecção e o aparecimento de sintomas visíveis. A manifestação de sintomas pode ser afetada pelas condições ambientais, mas em geral o progresso dos sintomas é paralelo ao progresso da produção de inóculo. A caracterização da severidade ou da incidência de doenças ao longo do tempo é de fundamental importância em epidemiologia para descrever a dinâmica da doença.

2.5.1 Epidemiologia descritiva

Caracteriza-se pela distribuição e a progressão da enfermidade na população por meio da observação. Os estudos descritivos informam sobre a frequência e a distribuição de um evento.

A fitopatometria, termo utilizado para designar a quantificação de doenças, é muito utilizada nos estudos de curva de progresso da doença ou ainda quando se deseja quantificar os danos provocados por algum patógeno na planta doente (BERGAMIN FILHO; AMORIN, 2004). Estes autores mencionam ainda que de nada adianta se conhecer o patógeno que causa uma dada doença em planta se não for possível quantificar os danos provocados pelo mesmo, daí então, a importância da fitopatometria ser comparada a diagnose. Geralmente é a primeira parte de uma investigação epidemiológica, na qual são feitos o registro e a observação da doença e de possíveis fatores causais.

2.5.2 Progresso da doença

A melhor representação de uma epidemia, de doença de planta, é utilizar a plotagem da proporção da doença versus o tempo, o que irá nos fornecer a curva de progresso da doença. Através dela, as interações entre patógeno, hospedeiro e ambiente podem ser caracterizadas, as estratégias de controle podem ser avaliadas e os níveis futuros de doença podem ser previstos (BERGAMIN FILHO; AMORIN, 2004).

A partir da análise da curva de progresso da doença podemos obter informações como: época do início da epidemia, quantidade de inoculo inicial (y_0), taxa de progresso da doença (r), intensidade máxima e final da doença, forma da curva de progresso e a duração da epidemia. Para que estas informações sejam utilizadas corretamente é preciso ajustar um modelo aos dados observados (CAMPBELL; MADDEN, 1990).

O progresso da doença está interligado as perdas e os impactos que a doença causa ao seu hospedeiro. Para reduzir esse efeito não é preciso eliminar a doença, precisamos apenas manter seu desenvolvimento abaixo de um nível aceitável. Isso significa que o progresso da doença e os fatores que o influenciam devem ser entendidos em termos quantitativos (VAN DER PLANK, 1963). É importante conhecer quais doenças tem padrão linear de evolução e que fatores afetam a inclinação da curva (a taxa de progresso da doença), também entender quais doenças tendem a produzir curvas exponenciais e como podemos reduzir tanto o nível inicial da doença quanto a taxa de desenvolvimento de epidemia. A partir deste entendimento associado aos critérios estatísticos obtidos da regressão linear é possível escolher a curva que melhor representa o progresso da doença (JEGER, 1989; CAMPBELL; MADDEN, 1990).

2.6 ARRANJO ESPACIAL DAS DOENÇAS

O padrão espacial de uma doença depende não só da forma de dispersão do patógeno, como também da arquitetura das plantas hospedeiras e do arranjo destas no campo (MEDERIOS, 2010). A análise do padrão de distribuição de uma doença é necessária para o entendimento da dinâmica de epidemias, principalmente quanto ao padrão do inóculo inicial, os mecanismos de dispersão do patógeno, o efeito de práticas biológicas e culturais, bem como o efeito de fatores ambientais na infecção e dispersão de patógenos e doenças, assim desenvolver as hipóteses biológicas e ambientais plausíveis, associando essa distribuição com a presença de propágulos do patógeno ou microclima favorável (JEGER, 1989; CAMPBELL & MADDEN, 1990).

Durante o processo de uma epidemia o arranjo espacial das plantas doentes pode ser alterado. Ao definir a característica de distribuição espacial dos membros de uma população doente, torna-se mais fácil entender o que pode estar causando tal doença (BERGAMIN FILHO *et. al.*, 2002).

O padrão espacial aleatório preconiza que todas as plantas têm a mesma possibilidade de infecção, pois a dispersão do patógeno está associada a uma condição externa para que ocorra a disseminação, já o padrão espacial agregado relaciona-se com a proximidade da planta à fonte de inóculo, forma-se grupo de plantas doentes redor dos focos primários (BERGAMIN FILHO *et. al.*, 2002).

2.6.1 Análise geoestatística

A geoestatística tem sido aplicada para modelar o padrão espaço-temporal e gerar hipóteses sobre aspectos epidemiológicos de doenças de plantas. A metodologia da geoestatística pode ser usada quando se dispõe de uma amostra aleatória de uma variável resposta contínua, na qual para cada elemento amostral se tem associada uma localização geográfica (LAMPARELLI *et. al.*, 2001). A análise da variação desta variável resposta em relação à localização dos elementos possibilita a construção de um modelo estatístico usado para prever o valor da variável em locais não previamente amostrados. As técnicas geoestatísticas podem ser usadas para descrever e modelizar padrões espaciais (variografia), para prever valores em locais não amostrados (krigagem), para obter a incerteza associada a um valor estimado em locais não amostrados (variância de krigagem) e para otimizar malhas de amostragem (ANDRIOTTI, 2003).

O fundamento básico da geoestatística está na descrição da estrutura da variabilidade espacial (semivariograma) e não tendenciar e manter a mínima variância dos dados não medidos (krigagem) (LAMPARELLI *et. al.*, 2001). Para obtenção de mapas temáticos mais condizentes com a realidade busca-se o melhor ajuste do semivariograma que servirá de base para realizar a krigagem, desta forma fazendo com que as estimativas sejam mais assertivas (VIEIRA, 2000).

2.6.2 Análise da dinâmica e estrutura de focos

A forma da distribuição de plantas doentes nas áreas plantadas nos dá uma ideia do padrão de dispersão da doença. A ocorrência de plantas doentes pode-se dar dentro de uma linha de plantio ou está distribuída por toda a parcela, este padrão de dispersão da doença pode ocorrer de forma ao acaso ou agregada. O padrão ao acaso indica que a doença é transmitida da fonte de inóculo até a planta, assim a ocorrência não é influenciada pela distância até a fonte de inóculo, já o padrão ao acaso em doenças cujos patógenos são veiculados pelo ar significa que a probabilidade de um esporo cair sobre uma planta hospedeira é igual para todas as plantas do cultivo, já o segundo padrão, agregado, nos indica que a distribuição das plantas doentes está associada a uma fonte primária de infecção, ou seja, em condições naturais, o patógeno se dispersa apenas a curtas distâncias, a probabilidade de uma planta ser infectada é maior para aquelas plantas situada próxima à fonte de inóculo do que para aquelas situadas longe da fonte de inóculo. Neste caso, o padrão espacial da doença não será ao acaso

e, sim, agregado, com focos visíveis ao redor das fontes primárias de inóculo. Os dados coletados pela forma de distribuição das plantas doentes umas em relação às outras, auxilia no esclarecimento da etiologia da doença (LARANJEIRA *et. al.*, 1998).

De forma geral as culturas perenes exibem padrões de aparecimento, para doenças de causa biótica, de crescimento em focos. O comportamento de agregação de plantas doentes nestes casos se dá a partir de incidências relativamente elevadas (JESUS JUNIOR, *et. al.*, 2004). Um foco de doença é um ponto de concentração localizada de plantas doentes ou lesões discretas, podendo ser uma fonte primária de infecção ou coincidir com uma área originalmente favorável ao estabelecimento da doença e tendendo a influenciar o padrão posterior da doença (NUNES *et. al.*, 2006).

A análise da estrutura de focos é utilizada para caracterizar espacialmente as epidemias cujas avaliações são baseadas na incidência e é possível determinar “número” de focos (N) é definido como o número total de focos de doença na matriz. “Tamanho” do foco (NPF) é definido como o número de plantas doentes em um foco da doença (cada planta reunindo o critério de proximidade imediato). “Dimensão” do foco é definida como a distância máxima entre “linha” (nl) e “coluna” (nc) estendida pelo foco. Um “índice de compactação do foco” (ICF) pode ser usado como uma indicação da compactação da organização do foco (NELSON, 2006; JESUS JUNIOR *et. al.*, 2004; NUNES *et. al.*, 2006). As informações oriundas de outras técnicas de análise espacial associadas a análise da estrutura de focos pode complementar e serem utilizadas para testes de hipóteses para melhor entender o patossistema, fato que é de extrema importância no caso de doenças de etiologia desconhecida (NELSON, 2006).

3 OBJETIVO

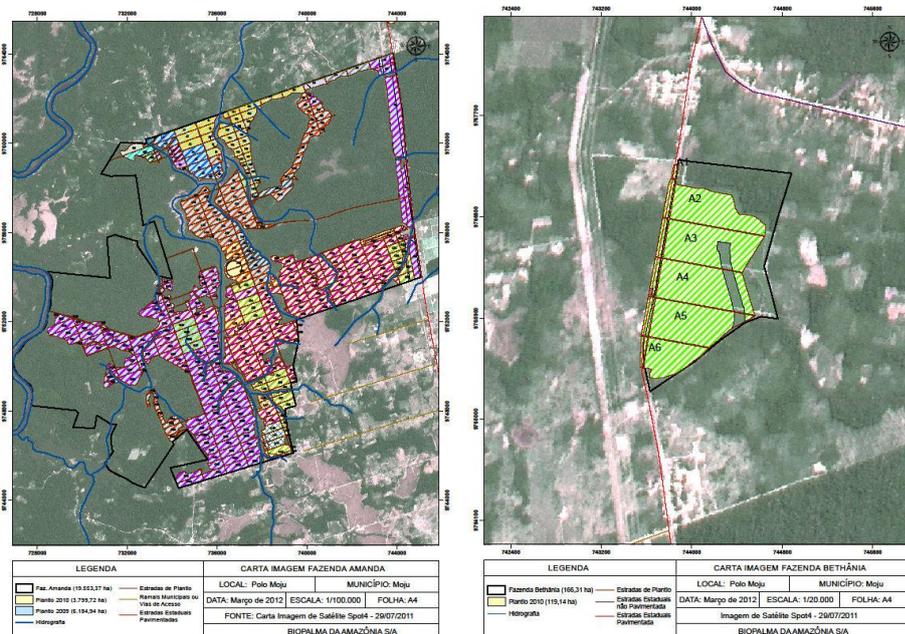
Avaliar a forma de disseminação do Amarelecimento Fatal nas parcelas a serem estudadas para assim contribuir para a identificação da natureza etiológica do agente causal e ou o fator precursor para a dispersão da doença.

4 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Foram considerados os levantamentos do número de casos de Amarelecimento Fatal, realizados no período de janeiro de 2012 a dezembro de 2015, para os critérios de avaliações de epidemiologia de plantas. As áreas selecionadas para o presente estudo estão localizadas no município de Moju, Pará (PA), sendo a fazenda Amanda, latitude $-2^{\circ}12'26.04''$ e longitude $-48^{\circ}48'19.02''$ e Bethânia latitude $-2^{\circ}6'29.70''$ e longitude $-48^{\circ}48'30.31''$, com 7432,57 ha e 118,24 ha (**Figura 1**) respectivamente, totalizando 334 parcelas de plantio. Os dados analisados neste trabalho foram cedidos e coletados pela empresa Biopalma da Amazônia S/A Reflorestamento, Indústria e Comércio.

Estas áreas foram escolhidas entre as demais devido à grande variação de incidência na fazenda Amanda entre as parcelas e a alta média de AF na Bethânia. Embora a Bethânia tenha uma área consideravelmente menor, comparada a fazenda Amanda, somente nessa área foi obtida grande porcentagem de plantas infectadas para todas as análises estudadas.

Figura 1 –Mapa das fazendas Amanda e Bethânia (direita) e suas respectivas parcelas de plantio do dendezeiro, Moju-PA.



Fonte: Biopalma da Amazônia S/A.

4.1 Análise temporal

Para realizar a análise temporal dos dados foram consideradas as plotagens não cumulativas da incidência da doença em função do tempo (anos) para todas as parcelas avaliadas. Em seguida, diferentes modelos epidemiológicos foram ajustados tanto aos dados de progresso mensal quanto aos dados de progresso anual da doença.

4.1.1 Epidemiologia descritiva

Para descrever o progresso do AF do dendezeiro foram avaliadas 314 parcelas de cultivo, no município de Moju, PA, de janeiro de 2012 a novembro de 2015. Durante esses anos, mensalmente, em todas as parcelas foram realizadas avaliações em todas as plantas. Foi considerada a primeira ocorrência dos sintomas do AF por planta. Em cada parcela, avaliou-se o número de plantas doentes.

Esses valores foram transformados para incidência da doença, por meio da equação:

$$I (AF) = \frac{\text{N}^{\circ} \text{ plantas doentes}}{\text{Total de plantas na parcela}}$$

Então foram construídos histogramas anuais com frequência variando em 5% de incidência na lavoura.

4.1.2 Progresso da doença

A análise temporal do progresso da doença foi realizada entre os anos de 2012 a 2015. Os dados foram submetidos ao teste F da análise de significância ($p < 0,05$), na análise de regressão foi utilizado os modelos de regressão lineares e não lineares, utilizamos o intervalo de 2012 a 2015 para representar o progresso do AF e os anos de 2012 e 2013 para o ajuste dentro do ano avaliado, com intervalo mensal.

Os modelos de regressão lineares foram ajustados para obter a taxa de progresso e os não lineares para ajustar a forma ou padrão da curva da doença ao longo dos anos ou dentro de um ano específico. Em cada parcela, avaliou-se o número de plantas doentes.

Esses valores foram transformados para incidência da doença, por meio da equação:

$$I (AF) = \frac{\text{N}^\circ \text{ plantas doentes}}{\text{Total de plantas na parcela}}$$

Sendo assim, foram escolhidas as parcelas de maior incidência. Para a fazenda Amanda, foram utilizadas quatro parcelas, constituindo quatro repetições, para realizar as análises estatísticas, sendo elas as parcelas A1, A2, B1 e C1, cujos totais de plantas avaliadas nas mesmas foram de 5097, 3203, 4682 e 4053, respectivamente. Já para a fazenda Bethânia, as quatro parcelas selecionadas para realizar as análises foram A3, A4, A5 e A6, cujos totais de plantas avaliadas nas mesmas foram de 4365, 4951, 4090 e 2093, respectivamente.

Para obter as taxas estimadas do progresso da doença, foram ajustados modelos de regressão linear simples aos dados originais e aos dados linearizados transformados. As transformações para linearização foram por monito (y), exponito (y), logito (y) e gompito (y), (Campbell & Madden, 1990) onde:

Monito [$y_m = \ln[1/(1-y)]$]

Exponito [$y_e = \ln(y)$]

Logito [$y_l = \ln[y/(1-y)]$]

Gompito [$y_g = -\ln[-\ln(y)]$]

Y = proporção de doença obtida na parcela anual ou mensal.

Para as curvas de progresso da doença, foram ajustados modelos de regressão linear simples e não lineares. Dentre os não lineares, foram ajustados os modelos Monomolecular,

Exponencial, Logístico e de Gompertz, todos com dois parâmetros, um relacionado à quantidade de inóculo inicial (y_0), e outro à taxa de progresso da doença (r). Além desses, também foram avaliados os modelos Logístico e de Gompertz com três parâmetros.

Modelos de regressão linear e não lineares avaliados (com dois parâmetros):

Linear: $y = y_0 + rt$

Monomolecular: $y = 1 - (1 - y_0) \exp(-rt)$

Exponencial: $y = y_0 \exp(rt)$

Logístico: $y = 1 / [1 + \exp\{-\ln y_0 / (1 - y_0) + rt\}]$

Gompertz: $y = \exp(\ln y_0 \exp(-rt))$

Onde: y_0 : quantidade de inóculo inicial; r : taxa de progresso da doença; y : variável resposta; t : tempo (variável independente).

Modelos de regressão não lineares avaliados (com três parâmetros):

-Modelo de Gompertz (Gompertz & Philos, 1825):

$$y_i = \beta_1 e^{\left(-\beta_2 e^{(-\beta_3 x_i)}\right)} + \varepsilon_i$$

-Modelo Logístico (Ratkowski, 1983):

$$y_i = \frac{\beta_1}{1 + \beta_2 e^{(-\beta_3 x_i)}} + \varepsilon_i$$

Onde: β_1 : parâmetro do peso assintótico; β_2 : parâmetro de locação, sem interpretação biológica; β_3 : parâmetro de taxa de progresso; y_i : variável resposta; x_i : variável independente; ε_i representa o erro aleatório, $\varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2)$.

Os melhores modelos de regressão foram selecionados em função da significância dos parâmetros e do menor erro padrão dos mesmos, maior coeficiente de determinação (R^2), menor quadrado médio dos resíduos (QMR) e ausência de tendências indesejáveis nos gráficos de dispersão dos resíduos.

4.2 Arranjo espacial das doenças

A distribuição espacial do Amarelecimento fatal do dendezeiro nas fazendas Amanda e Bethânia foi estudada por meio da análise geoestatística e da análise da dinâmica e estrutura de focos ao longo do tempo. Para realizar as análises, foram selecionadas quatro parcelas da fazenda Bethânia e quatro parcelas da fazenda Amanda, já previamente estudadas e selecionadas na análise temporal. Foram avaliadas todas as plantas de cada parcela. O número de plantas das parcelas da fazenda Bethânia, identificadas por A3, A4, A5 e A6, foi de 4365, 4951, 4090 e 2093 plantas, respectivamente. Já as da fazenda Amanda, foram A1, A2, B1 e C1, com 5097, 3203, 4682 e 4053

plantas, respectivamente. Em cada parcela, avaliaram-se as novas incidências da doença, de forma acumulativa, no período de 2011 a 2014.

4.2.1 Análise geoestatística

Para construir as malhas de pontos para as análises geoestatística, foi utilizado o espaçamento de plantio (7 x 7 m), onde cada planta constituiu um ponto amostral. A análise geoestatística consistiu basicamente de duas etapas (ALVES *et. al*, 2006):

- 1) ajuste do modelo de semivariograma a estrutura da nuvem de pontos;
- 2) krigagem, método usado para interpolar os pontos georreferenciados e fazer o mapeamento do comportamento do fenômeno no espaço.

A semivariância dos dados, representada por $\gamma(h)$, foi obtida por meio da seguinte expressão:

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2$$

(Equação 1)

Onde: $n(h)$ representa o número de pares de valores medidos, separados pelo vetor de distâncias h ; $z(x_i)$ e $z(x_i+h)$ são realizações da variável Z , nas coordenadas x_i e x_i+h , de tal modo que esses pontos estão separados pela distância h .

A distância h segundo a qual $\gamma(h)$ atinge certo nível, denominado patamar (sill), igual à variância a priori dos dados, e chamada de alcance (range). Geralmente, o patamar é representado por $C_0 + C_1$ e o alcance, por a . O efeito pepita C_0 é causado pela variância aleatória e C_1 é denominado variância espacial ou contribuição. O grau de aleatoriedade (E) e sua componente aleatória (**Tabela 1**) dos dados (GUERRA, 1988), foram obtidos por meio da equação 2. O extremo dessa situação é o modelo efeito pepita puro, em que não ocorre correlação entre os valores e, portanto, a análise semivariográfica não se aplica, sugerindo o uso de outros métodos de interpolação.

$$E = \frac{C_0}{C_1}$$

(Equação 2)

Tabela 1 - Classificação dos graus de aleatoriedade.

Grau de Aleatoriedade	Componente aleatória
$E < 0,15$	Pequena
$0,15 \leq E \leq 0,3$	Significativa
$E > 0,30$	Muito significativa

Fonte: Guerra, (1988).

Outra medida usada nesse sentido foi o Grau de Dependência Espacial das variáveis (GDE), equação 3, proposto por Cambardella *et. al.* (1994), onde os semivariogramas com efeito pepita até 25% do patamar são considerados de forte dependência espacial, aqueles entre 25% e 75%, de moderada dependência espacial, e por fim, os de fraca dependência espacial, com valor igual ou acima de 75% e para modelar a estrutura da nuvem de pontos, foram avaliados três modelos isotrópicos clássicos (Esférico, Exponencial e Gaussiano).

GDE	Esférico	Exponencial	Gaussiano
$GDE = \left(\frac{C_0}{C_0 + C_1} \right) \times 100$	$\gamma(h)_{exp} = \begin{cases} 0 & , h=0 \\ C_0 + C_1 \left[1 - e^{-\left(\frac{h}{a}\right)^3} \right] & , h \neq 0 \end{cases}$	$\gamma(h)_{exp} = \begin{cases} 0 & , h=0 \\ C_0 + C_1 \left[1.5 \left(\frac{h}{a} \right) - 0.5 \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right] & , 0 < h \leq a \\ C_0 + C_1 & , h > a \end{cases}$	$\gamma(h)_{gau} = \begin{cases} 0 & , h=0 \\ C_0 + C_1 \left[1 - e^{-\left[\left(\frac{h}{a\sqrt{3}} \right)^2 \right]} \right] & , h \neq 0 \end{cases}$
(Equação 3)	(Equação 4)	(Equação 5)	(Equação 6)

A seleção dos modelos foi efetuada com base na validação cruzada, onde o modelo escolhido foi aquele com erro médio mais próximo de 0 e raiz quadrada do erro médio padronizado mais próxima de 1. Devido ao fato de o conjunto de dados ser do tipo binário (0 - planta sadia; 1 - planta doente), foi usada a krigagem indicadora, a qual permite realizar o mapeamento da probabilidade de ocorrência do fenômeno, no presente caso, a probabilidade de incidência da doença em determinada localização espacial da parcela. Nesse tipo de krigagem, os valores de probabilidade variam de 0 (probabilidade mínima) a 1 (probabilidade máxima). As análises geoestatística foram realizadas no software ArcGIS 10.1.

4.2.2 Análise da dinâmica e estrutura de focos

Foi realizada a análise da dinâmica e estrutura de focos do Amarelecimento fatal do dendezeiro para os dados anuais de incidência da doença, de acordo com a metodologia proposta por Nelson (2006) e Laranjeira *et. al.* (1998). Consideraram-se como pertencentes ao mesmo foco apenas as plantas sintomáticas imediatamente adjacentes no padrão de proximidade vertical, horizontal ou diagonal. Já os focos unitários são aqueles compostos por uma única planta afetada.

Nas avaliações dos dados anuais, foi calculado o número de focos (NF), o número de plantas em cada foco *i* (NPF_{*i*}) e o número máximo de linhas (lfi) e colunas (cfi) ocupadas por cada foco *i*. Em função da diferença no número de plantas por parcela, para viabilizar a análise conjunta dos dados, o NF foi padronizado para número de focos por 1000 plantas (NFM, onde NFM = NF.1000/número de plantas na parcela), conforme Jesus Junior *et. al.* (2004). Também foram calculados, conforme Nelson (2006) e Laranjeira (1998), o número de focos unitários por 1000 plantas (NF1M), a porcentagem de focos unitários (%FU), o número médio de plantas por foco

(NMPF), o índice médio de forma de focos (IFF) e o índice médio de compactação de focos (ICF) onde:

$$IFF = [\sum(lfi/cfi)]/NF$$

(Equação 7)

$$ICF = [\sum(NPFI/cfi * lfi)]/NF$$

(Equação 8)

Valores de IFF iguais a 1,0 indicam focos isodiamétricos, valores maiores que 1,0 indicam focos com maior comprimento na direção entre as linhas de plantio, e valores menores que 1,0 indicam focos com maior comprimento na direção da linha de plantio. Valores de ICF próximos a 1,0 indicam focos mais compactos, isto é, maior agregação e proximidade entre todas as plantas pertencentes ao foco (NELSON, 2006). A fim de diminuir a influência dos focos unitários no cálculo destes dois últimos índices, também foram calculados o índice médio de forma de focos não unitários (IFFNU) e o índice médio de compactação de focos não unitários (ICFNU), conforme Jesus Junior *et. al.* (2004).

Este trabalho prevê que os dados a serem avaliados devem progredir no tempo de maneira semelhante às doenças de causa biótica já descrita na literatura, ou seja, seguindo um dos modelos clássicos de cinética epidêmica, como o exponencial (a baixas incidências), o logístico, o de Gompertz ou o monomolecular (CAMPBELL & MADDEN, 1990; NUTTER, 2007), mesmo não se conhecendo a etiologia da doença. Independente da análise temporal, os dados serão submetidos à análise espacial para posterior interação aos dados temporais. No caso de a cinética epidêmica da doença não encontrar uma relação espaço-temporal dos dados observados, haverá uma forte indicação de causa abiótica para o Amarelecimento Fatal.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

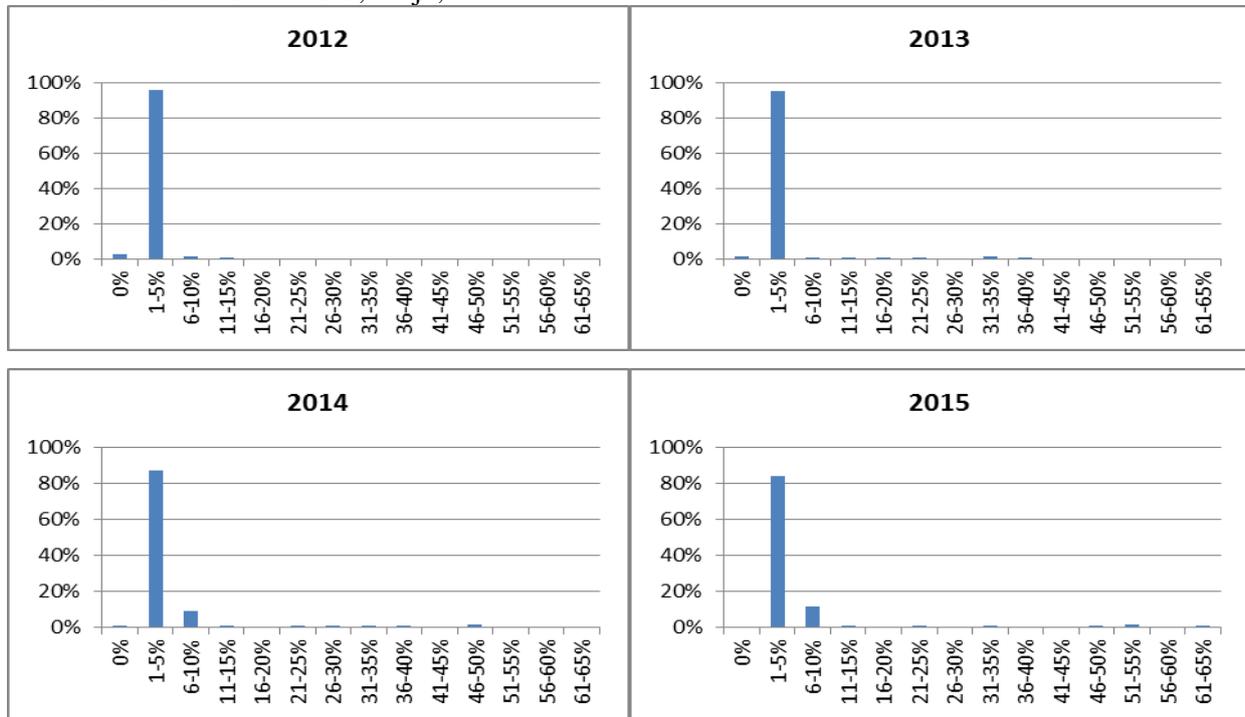
5.1 Epidemiologia descritiva

No ano de 2012 apenas 2,9% das parcelas foram avaliadas com 0 % de ocorrência, ou seja, sem nenhuma planta doente, já em 2015 não foram encontradas parcelas sadias, ou seja, 100% estavam doentes (**Figura 2**). Enquanto a porcentagem de parcelas na classe de 1 a 5% reduziu de 95,5 para 84,1% em 4 anos, e no intervalo de 6-10% houve inversão ocorrendo aumento de 1,3 para 11,5% de AF. Na análise dos histogramas, fica evidente ao longo dos anos a migração das classes de menor incidência para as de maior incidência, com redução evidente e distribuição com tendência à direita das ogivas (**Figura 2**).

Na análise primária onde comparamos as porcentagens de incidências de novos casos ao longo dos anos avaliados, 2012 a 2015, ficou clara a evidência do progresso da doença para classes de maiores incidências. Isso é observado em algumas parcelas nas quais apresentaram classes superiores

a 45 e 60% (**Figura 2**) de incidência a partir de 2014 e de 2015, respectivamente, ou seja, há uma tendência de aumento significativo da doença quando ela atinge certo nível de incidência.

Figura 2 - Distribuição das classes de frequência, com intervalo de 5%, do amarelecimento fatal (AF) entre os anos de 2012 e 2015, Moju, PA.



Fonte: próprio autor, 2016.

Na análise primária onde comparamos as porcentagens de incidências de novos casos ao longo dos anos avaliados, 2012 a 2015, mostra o progresso da doença para classes de maiores incidências. Isso é observado em algumas parcelas nas quais apresentaram classes superiores a 45 e 60% de incidência a partir de 2014 e de 2015 (**Figura 2**), respectivamente, ou seja, há uma tendência de aumento significativo da doença quando ela atinge certo nível de incidência.

5.2 Progresso da doença

Ajuste de modelos de regressão lineares Anual - Intervalo de 2012 a 2014

O teste F da análise de variância foi altamente significativo ($p < 0,001$) tanto para os dados originais quanto para os dados linearizados em todas as transformações estudadas tanto para a Amanda quanto a Bethânia. Para ambas as fazendas o modelo de regressão linear simples, da reta, foi o de melhor ajuste, com o menor QMR e erro padrão dos parâmetros das equações e R^2 acima de 0,9. A linearização dos dados pelo modelo de regressão Logito foi o que mais se distanciou dos dados reais, com maior erro padrão dos parâmetros para ambas as fazendas (**Tabelas 2 e 3**).

Os dados anuais linearizados da Amanda e Bethânia, tiveram o melhor ajuste para o modelo de regressão linear simples da reta, com o menor QMR e erro padrão dos parâmetros das equações.

Sendo assim, a taxa de progresso do AF padronizada entre 2012 e 2014 foi de 10,2 e 17,1% ao ano para as parcelas analisadas nas fazendas Amanda e Bethânia respectivamente, com diferença de 7,1% entre elas (**Tabelas 2 e 3**). Bergamin Filho *et. al.* (1998) avaliaram os dados de AF linearizados ao longo dos anos e obtiveram alguns resultados com padrão de crescimento linear, por um longo período (1985 a 1992), como acontece com problemas abióticos de outras plantas perenes, semelhantes ao encontrado nesta avaliação do trabalho em estudo.

Tabela 2 - Modelos de regressão linear ajustados para os dados linearizados de incidência anual do Amarelecimento fatal do dendezeiro na fazenda **Amanda**, no período de 2012 a 2014.

Transformação	y_0	Erro padrão y_0	r	Erro padrão r	R ²	QMR
Dados originais	-0,128	0,049	<u>0,102*</u>	0,018	0,94	<u>0,00159</u>
Logito	-6,428**	0,518	1,479*	0,189	0,97	0,179

Fonte: próprio autor, 2016.

Tabela 3 - Modelos de regressão linear ajustados para os dados linearizados de incidência anual do Amarelecimento fatal do dendezeiro na fazenda **Bethânia**, no período de 2012 a 2014.

Transformação	y_0	Erro padrão y_0	r	Erro padrão r	R ²	QMR
Dados originais	-0,210	0,079	<u>0,171*</u>	0,029	0,95	<u>0,00418</u>
Logito	-6,719*	0,821	1,794*	0,300	0,95	0,449

y_0 : intercepto; r : taxa; *Significativo por meio do teste t de Student ($p < 0,05$); ** Significativo por meio do teste t de Student ($p < 0,01$).

Fonte: próprio autor, 2016.

Ajuste de modelos de regressão não lineares Anual - Intervalo de 2012 a 2014

O modelo com menor QMR, erro padrão dos parâmetros e maior R² para as fazendas Amanda e Bethânia foi o Logístico com três parâmetros (**Tabelas 4**), embora Gompertz também obteve ótimos índices de ajuste (**Figura 3**).

Tabela 4 - Modelos de regressão não lineares com três parâmetros, ajustados para à incidência anual do Amarelecimento fatal do dendezeiro no período de 2012 a 2014.

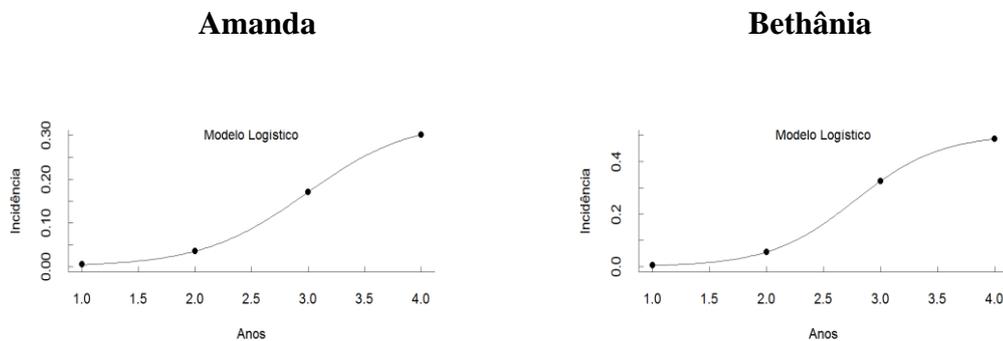
Modelos com 3 parâmetros ($\beta_1, \beta_2, \beta_3$)									
Fazenda	Modelo	β_1	Erro padrão	β_2	Erro padrão	β_3	Erro padrão	R ²	QMR
Amanda	Logístico	0,33**	0,003	647,6	70,260	2,16*	0,042	<u>0,99</u>	<u>1,25e⁻⁶</u>
Bethânia	Logístico	0,504***	0,001	1.702,00*	56,39	2,681**	0,012	<u>0,99</u>	<u>2,67e-7</u>

y_0 : inóculo inicial; r : taxa de progresso; β_1 : parâmetro do peso assintótico; β_2 : parâmetro de locação, sem interpretação biológica; β_3 : parâmetro de taxa de progresso; *Significativo por meio do teste t de Student ($p < 0,05$); ** Significativo por meio do teste t de Student ($p < 0,01$); *** Significativo por meio do teste t de Student ($p < 0,001$).

Fonte: próprio autor, 2016.

Entre os sete modelos estatísticos avaliados, para os dados não linearizados na avaliação anual, o logístico com três parâmetros, obteve os melhores indicadores de qualidade aos dados de progresso do AF nas fazendas, com R² de 0,99 e menor QMR (Tabelas 4). É possível verificar uma fase exponencial ou logarítmica com tendência à estabilização a partir de 30% de incidência dentro do intervalo analisado (Figura 3).

Figura 3 - Representação do ajuste do modelo Logístico, com três parâmetros aos dados reais da epidemia do Amarelecimento Fatal do Dendezeiro em Moju, PA, no período de 2012 a 2014.



Fonte: próprio autor, 2016.

Ajuste de modelos de regressão lineares Mensal - Intervalo para os anos de 2013 e 2014

O ajuste de modelos de regressão, aos dados mensais do AF nos anos de 2013 e 2014, foi escolhido por estar localizados dentro do intervalo de progresso exponencial da curva de progresso da doença. Dessa forma, por estar localizado nesse intervalo, as taxas de progresso devem ser maiores. O teste F da análise de variância foi altamente significativo ($p < 0,001$) tanto para os dados originais quanto para os dados linearizados e não linearizados em todas as transformações estudadas para as duas Fazendas.

Para a fazenda Amanda o modelo de regressão linear simples da reta (**Figura 4**), com o menor QMR e erro padrão dos parâmetros das equações (**Tabelas 6 e 7**), e o monomolecular (**Figura 4**), com o menor QMR e um baixo erro padrão dos parâmetros das equações (**Tabelas 5 e 6**), foram o de melhor ajuste em 2013 e 2014, respectivamente, enquanto para Bethânia em ambos os anos foi o linear simples (**Figura 4**), com o menor QMR e erro padrão dos parâmetros das equações (**Tabelas 5 e 6**). Sendo assim, a taxa de progresso do AF padronizada, de acordo com os modelos escolhidos, nos anos de 2013 e de 2014 para a Fazenda Amanda foi de 1,4 e 1,7% e de 3,5 e 2,0 % ao mês para Bethânia, respectivamente (**Tabelas 5 e 6**). Ou seja, Bethânia sempre com maior taxa de progresso (**Figura 4**).

Tabela 5 - Modelos de **regressão linear** ajustados para os dados linearizados de incidência mensal do Amarelecimento fatal do dendezeiro nas fazendas **Amanda e Bethânia**, no período de janeiro a dezembro de **2013**, Moju-PA.

Fazenda	Transformação	y_0	Erro padrão y_0	r	Erro padrão r	R^2	QMR
Amanda	Dados originais	-0,023***	0,005	<u>0,014***</u>	0,001	0,98	<u>0,00006</u>
Bethânia	Dados originais	-0,036	0,030	<u>0,035***</u>	0,004	0,88	<u>0,00232</u>

y_0 : intercepto; r : taxa; *Significativo por meio do teste t de Student ($p < 0,05$); ** Significativo por meio do teste t de Student ($p < 0,01$); *** Significativo por meio do teste t de Student ($p < 0,001$).

Fonte: próprio autor, 2016.

Tabela 6 - Modelos de **regressão linear** ajustados para os dados linearizados de incidência mensal do Amarelecimento fatal do dendezeiro nas fazendas **Amanda e Bethânia**, no período de janeiro a dezembro de **2014**, Moju-PA.

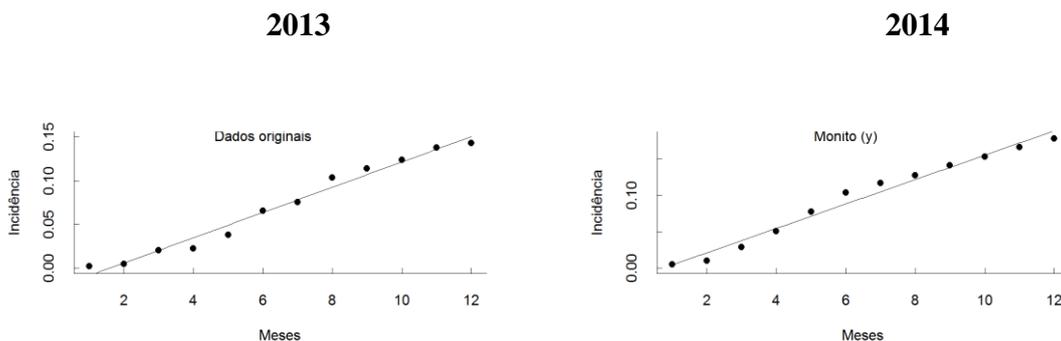
Fazenda	Transformação	y_0	Erro padrão y_0	r	Erro padrão r	R^2	QMR
Amanda	Monito	-0,012	0,006	<u>0,017***</u>	0,001	0,98	<u>0,00008</u>
Bethânia	Dados originais	-0,024*	0,008	<u>0,020***</u>	0,001	0,97	<u>0,00016</u>

y_0 : intercepto; r : taxa; *Significativo por meio do teste t de Student ($p < 0,05$); ** Significativo por meio do teste t de Student ($p < 0,01$); *** Significativo por meio do teste t de Student ($p < 0,001$).

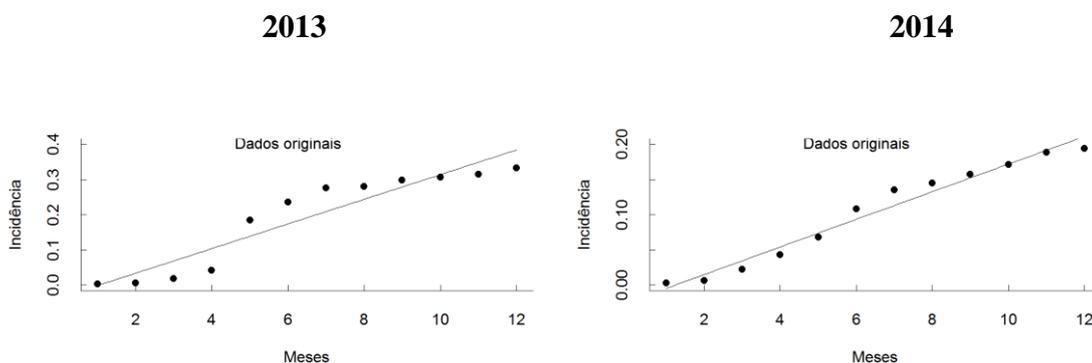
Fonte: próprio autor, 2016.

Figura 4 - Modelo linear ajustado para a taxa de progresso do Amarelecimento Fatal (AF) do dendezeiro, Fazendas Amanda e Bethânia.

Amanda



Bethânia



* valores de 1 a 12 no eixo dos meses correspondem aos meses de janeiro a dezembro de 2013 e 2014.

Fonte: próprio autor, 2016.

Ajuste de modelos de regressão não lineares Mensal - Intervalo para os anos de 2013 e 2014

Na avaliação mensal dos dados não linearizados o modelo com menor QMR, erro padrão dos parâmetros e maior R^2 para as fazendas Amanda e Bethânia foi o de Gompertz, com três parâmetros embora o Linear e Monomolecular também obtiveram ótimos índices de ajuste (**Tabelas 7 e 8**). No ajuste aos dados observados ou reais o modelo de Gompertz reproduziu o progresso do AF ao longo do tempo na fazenda Amanda tanto no ano de 2013 quanto em 2014 (**Figura 5**). Em relação à Fazenda Bethânia, a incidência em 2013 teve fase exponencial típica a partir de março, estabilizando em julho, porém com alta incidência de novas ocorrências, em torno de 35%. Em 2014, a partir de fevereiro teve início a ocorrência de novas incidências, com fase exponencial mais suave em relação ao ano anterior e estabilização em torno de 20% de incidência (**Figura 6**).

Tabela 7 - Modelos de **regressão não linear** ajustados para os dados da curva de progresso de incidência mensal do Amarelecimento fatal do dendezeiro na fazenda **Amanda**, no período de janeiro a dezembro de **2013 e 2014**.

Modelos com 3 parâmetros ($\theta_1, \theta_2, \theta_3$)									
Ano Avaliado	Modelo	θ_1	Erro padrão	θ_2	Erro padrão	θ_3	Erro padrão	R ²	QMR
2013	Gompertz	0,169***	0,010	6,439***	0,911	0,308***	0,033	<u>0,99</u>	<u>0,00002</u>
2014	Gompertz	0,169***	0,006	4,992***	0,560	0,351***	0,030	<u>0,99</u>	<u>0,00002</u>

y_0 : inóculo inicial; r : taxa de progresso; β_1 : parâmetro do peso assintótico; β_2 : parâmetro de locação, sem interpretação biológica; β_3 : parâmetro de taxa de progresso; *Significativo por teste t de Student ($p < 0,05$); ** Significativo por meio do teste t de Student ($p < 0,01$); *** Significativo por meio do teste t de Student ($p < 0,001$).

Fonte: próprio autor, 2016.

Tabela 8 - Modelos de **regressão não linear** ajustados para os dados da curva de progresso de incidência mensal do Amarelecimento fatal do dendezeiro na fazenda **Bethânia**, no período de janeiro a dezembro de **2013 e 2014**.

Modelos com 3 parâmetros ($\theta_1, \theta_2, \theta_3$)									
Ano Avaliado	Modelo	θ_1	Erro padrão	θ_2	Erro padrão	θ_3	Erro padrão	R ²	QMR
2013	Gompertz	0,310***	0,008	66,516	40,216	0,928***	0,129	<u>0,99</u>	<u>0,00023</u>
2014	Gompertz	0,203***	0,006	7,419***	1,054	0,396***	0,032	<u>0,99</u>	<u>0,00003</u>

y_0 : inóculo inicial; r : taxa de progresso; β_1 : parâmetro do peso assintótico; β_2 : parâmetro de locação, sem interpretação biológica; β_3 : parâmetro de taxa de progresso; *Significativo por teste t de Student ($p < 0,05$); ** Significativo por meio do teste t de Student ($p < 0,01$); *** Significativo por meio do teste t de Student ($p < 0,001$).

Fonte: próprio autor, 2016.

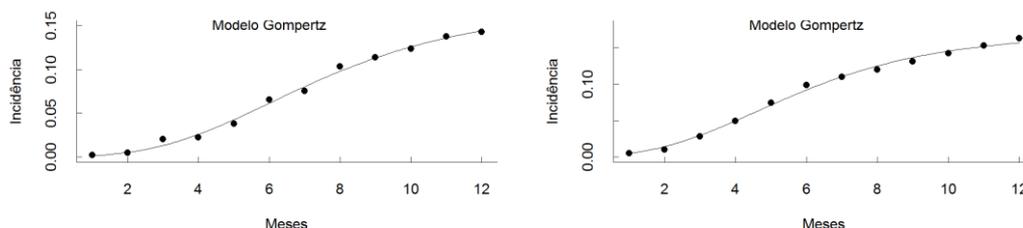
No ajuste aos dados observados ou reais, o modelo de Gompertz reproduziu o progresso do AF ao longo do tempo, para ambas as fazendas, tanto no ano de 2013 quanto em 2014 (**Figura 5 e 6**).

Figura 5 - Modelo de Gompertz ajustado para a curva de progresso do Amarelecimento fatal do dendezeiro. Fazenda Amanda, Moju, PA.

Amanda

2013

2014



* valores de 1 a 12 no eixo dos meses correspondem aos meses de janeiro a dezembro de 2013 e 2014.

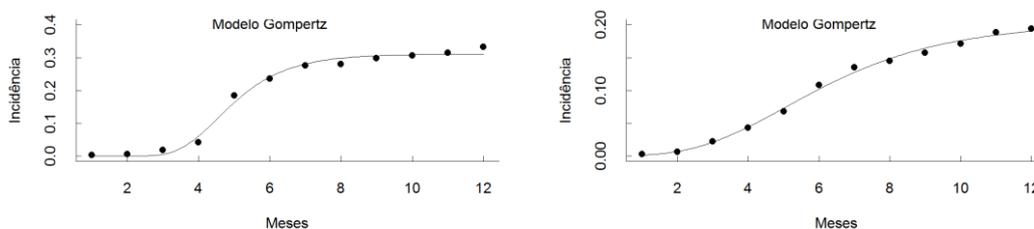
Fonte: próprio autor, 2016.

Figura 6 - Modelo de Gompertz ajustado para a curva de progresso do Amarelecimento fatal do dendezeiro. Fazenda Bethânia, Moju, PA.

Bethânia

2013

2014



* valores de 1 a 12 no eixo dos meses correspondem aos meses de janeiro a dezembro de 2013 e 2014.

Fonte: próprio autor, 2016.

O modelo não linear de melhor ajuste em ambos os anos para ambas fazendas foi o de Gompertz, à direita na figura 5 e 6, os dados avaliados no presente estudo mostram que a inclinação mais próxima é em 0,3 para a Fazenda Bethânia no ano 2013, nas demais avaliações os valores foram inferiores, mostrando que o modelo com melhor ajuste não contempla os parâmetros propostos por Jowett *et. al.* (1974) que preconizam que o modelo de Gompertz em altas incidências de doenças será adequado em algumas circunstâncias, desde que a doença alcance ponto de inflexão 0,40. Franqueville (2001), avaliando os dados das incidências de alguns países produtores, destacou que depois da primeira ocorrência de AF, por um período, os casos ocorrem de forma linear, porém a partir de um determinado momento assumem forma exponencial. A duração destas fases sucessivas é variável e em

algumas plantações não foi observada fase exponencial da doença, como exemplo os casos ocorridos para as avaliações das fazendas Amanda e Bethânia nos anos 2013 e 2014.

Nos trabalhos desenvolvidos por Bergamin Filho *et. al.* (1998), para o ajuste de dados não lineares, nos estudos com levantamento realizado pela empresa Denpasa, sugeriram que nenhum modelo epidemiológico clássico explica os dados coletados, não havendo nenhuma orientação preferencial da doença, foram constatadas curvas anuais com taxa exponencial entre os anos de 1992 a 1997, o que não ocorre com nenhuma doença biótica. No presente estudo houve um aumento da frequência do AF e do progresso da doença, comprovado com alta significância estatística ($p < 0,001$) tanto ao longo dos anos de cultivo, quanto ao longo dos meses de um determinado ano, com diferenças marcantes entre as fazendas e uma fase exponencial ou logarítmica típica. Houve ajuste ($R^2=0,99$) aos modelos de regressão não lineares: logístico e de Gompertz no intervalo de 2012 a 2014 e nos anos de 2013 e 2014, respectivamente com taxas de progresso anuais de até 17,1% e mensais de 3,5%, com progresso exponencial da incidência do AF.

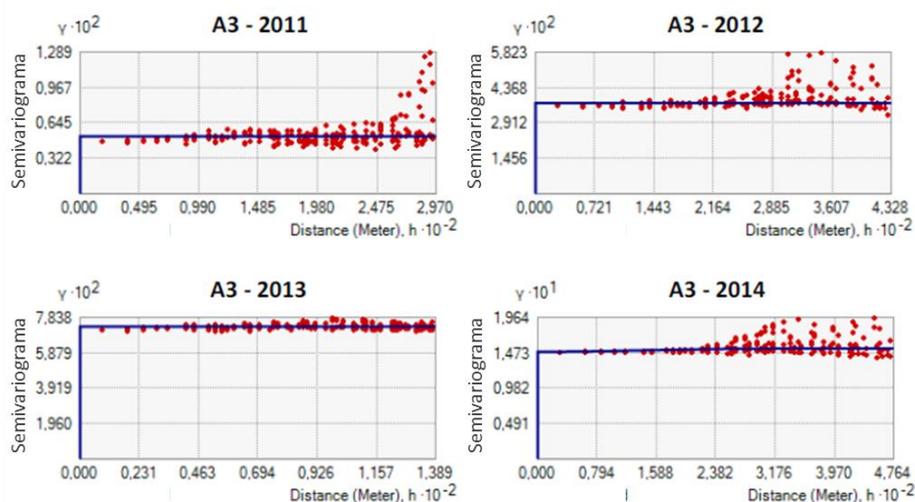
Mesmo se conhecendo a taxa de progresso e o melhor modelo não é possível afirmar que a anomalia estuda tenha comportamento biótico, pois as ocorrências não possuem comportamento típico de doenças de causa biótica já descrita na literatura.

5.3 Análise geoestatística

Fazenda Bethânia

Não houve dependência espacial para o Amarelecimento fatal do dendezeiro nas parcelas amostradas na fazenda Bethânia, o que pode ser constatado por meio da ausência de estrutura de dependência espacial entre as observações nos semivariogramas (**Tabela 9**). Logo, a distribuição da doença é aleatória ou ao acaso, não tendo focos ou progresso a partir deles (**Figura 7**). Dessa forma, os mapas de krigagem foram gerados considerando o modelo efeito pepita puro, para simples visualização dos focos da doença dentro de cada parcela nos anos de 2011 a 2014 (**Figura 8**).

Figura 7- Semivariogramas com ajuste do **modelo efeito pepita puro** aos dados de incidência da doença na fazenda **Bethânia**, parcela A3, anos 2011 a 2014.



1

Fonte: próprio autor, 2017.

Tabela 10 - Resultados da validação cruzada para o modelo efeito pepita puro na parcela A3 da fazenda **Bethânia**, nos anos de 2011 a 2014.

	A3 - 2011	A3 - 2012	A3 - 2013	A3 - 2014
EM	0,0001	0,00044	0,00163	0,00046
RQEMP	0,97453	0,98566	0,99276	0,98139

EM: erro médio; RQEMP: raiz quadrada do erro médio padronizado.

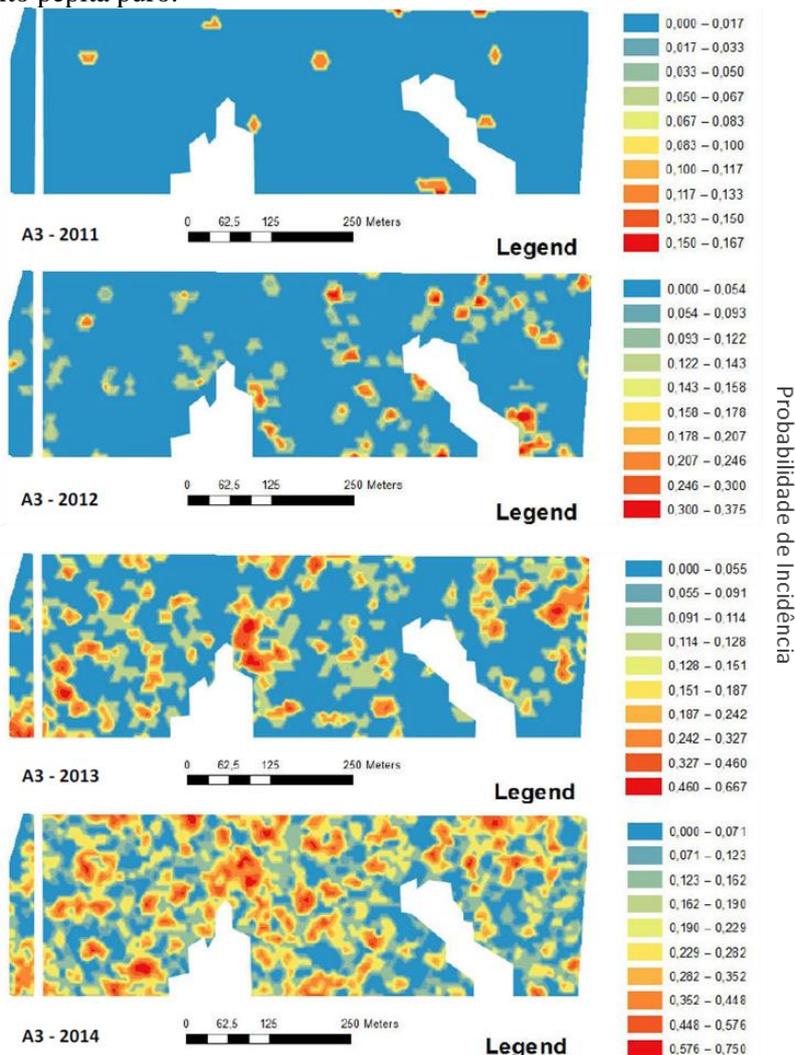
2

Fonte: próprio autor, 2017.

¹ Exemplo único dos resultados de todas as parcelas que obtiveram o mesmo resultado, demais Figuras presentes no Anexo.

² Exemplo único dos resultados de todas as parcelas que obtiveram o mesmo resultado, demais Tabelas presentes no Anexo.

Figura 8 - Mapas de **probabilidade de incidência** da doença na fazenda **Bethânia**, parcela A3, anos de 2011 a 2014, construídos sob o modelo efeito pepita puro.



3

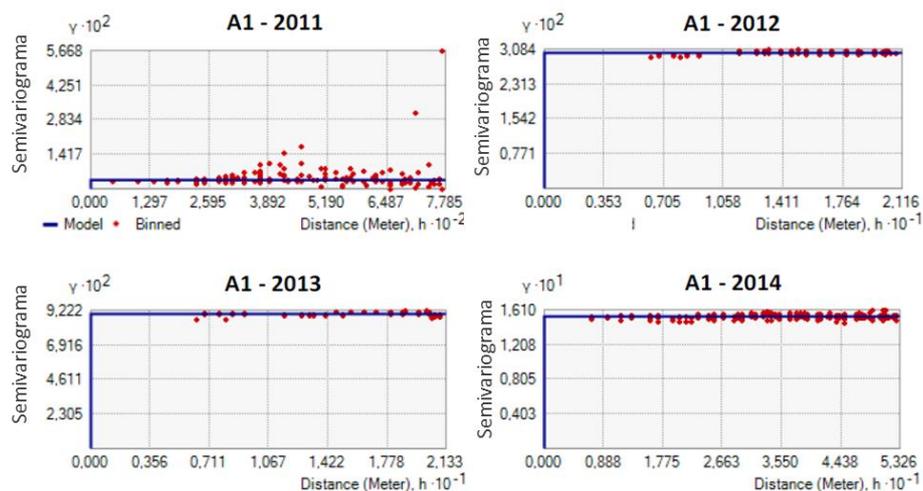
Fonte: próprio autor, 2017.

Fazenda Amanda

Também não houve dependência espacial para o Amarelecimento fatal do dendezeiro nas parcelas A1, A2, B1 e C1 da fazenda Amanda, em alguns anos avaliados, o que pode ser constatado por meio da ausência de estrutura de dependência espacial entre as observações nos semivariogramas (**Tabela 10**). Dessa forma, os mapas de krigagem também foram gerados, semelhante a fazenda Bethânia, considerando o modelo efeito pepita puro (**Figura 9**), para simples visualização dos focos da doença foram gerados os mapas (**Figura 10**).

³ Exemplo único dos resultados de todas as parcelas que obtiveram o mesmo resultado, demais Figuras presentes no Anexo.

Figura 9 - Semivariogramas com ajuste do **modelo efeito pepita puro** aos dados de incidência da doença na fazenda **Amanda**, parcela A1, anos 2011 a 2014.



4

Fonte: próprio autor, 2017.

Tabela 11 - Resultados da validação cruzada para o modelo efeito pepita puro na parcela A1 da fazenda **Amanda**, nos anos de 2011 a 2014.

	A1 - 2011	A1 - 2012	A1 - 2013	A1 - 2014
EM	-0,00012	0,00016	0,00138	0,00058
RQEMP	0,98299	0,99235	0,99722	0,99437

EM: erro médio; RQEMP: raiz quadrada do erro médio padronizado.

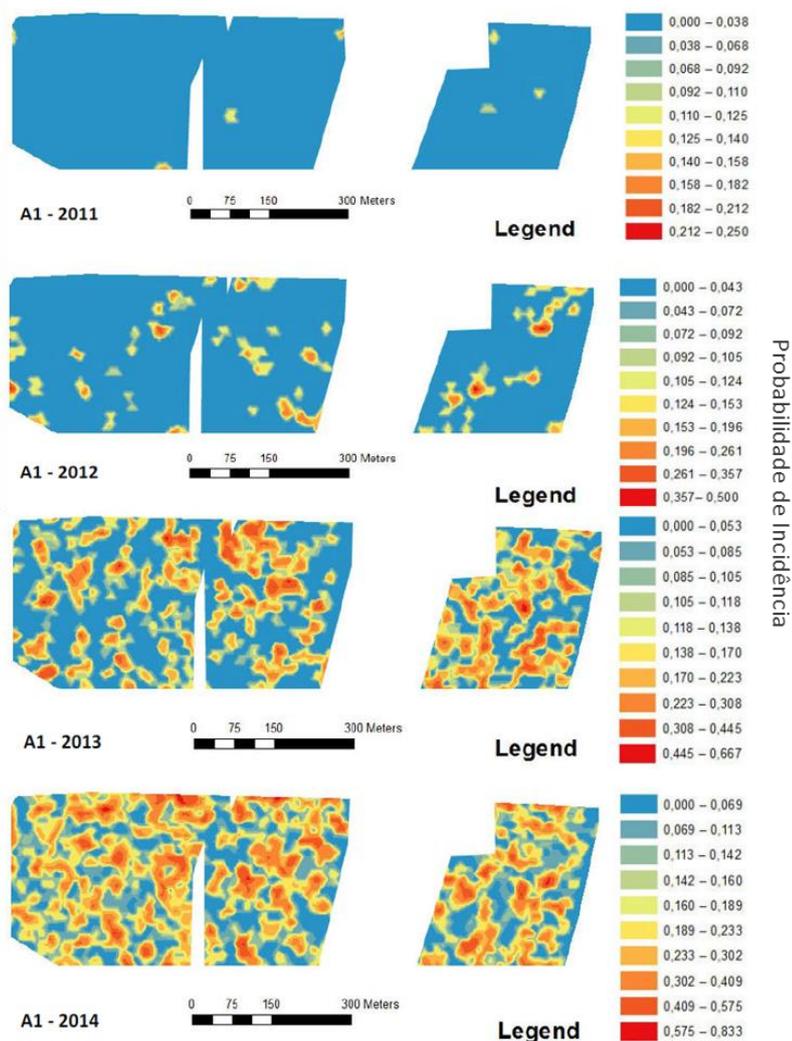
5

Fonte: próprio autor, 2017.

⁴ Exemplo único dos resultados de todas as parcelas que obtiveram o mesmo resultado, demais Figuras presentes no Anexo.

⁵ Exemplo único dos resultados de todas as parcelas que obtiveram o mesmo resultado, demais Tabelas presentes no Anexo.

Figura 10 - Mapas de **probabilidade de incidência** da doença na fazenda **Amanda**, parcela A1, anos de 2011 a 2014, construídos sob o modelo efeito pepita puro.



6

Fonte: próprio autor, 2017.

Já para os dados de incidência da Fazenda Amanda da parcela A2 nos anos de 2012 a 2014 e para os dados de incidência da parcela C1 no ano de 2014, os semivariogramas apresentaram nuvens de pontos com leve formação de estrutura de dependência espacial (**Figura 11**). Em todas as situações, os dados da parcela A2 para os anos de 2012 a 2014 e os dados da parcela C1 para o ano de 2014 apresentaram alto grau de aleatoriedade e baixo grau de dependência espacial (**Tabela 11 e 12**). Para os mapas de probabilidade de incidência do Amarelecimento fatal do dendezeiro na fazenda Amanda, parcela A2, anos 2012 a 2014, e parcela C1, ano 2014, ajustou-se o modelo exponencial (**Figura 12**).

⁶ Exemplo único dos resultados de todas as parcelas que obtiveram o mesmo resultado, demais Figuras presentes no Anexo.

Tabela 12 - Resultados da validação cruzada para os modelos esférico, exponencial e gaussiano na parcela A2, anos 2012 a 2014, e na parcela C1, ano 2014, da fazenda **Amanda**.

	A2 - 2012	A2 - 2013	A2 - 2014	C1 - 2014
EM_{esf}	-0,00008	-0,00009	-0,00012	0,00042
RQEMP_{esf}	1,02162	0,99748	0,98015	0,98945
EM_{exp}	-0,00008	-0,00007	-0,00008	0,00041
RQEMP_{exp}	1,01965	0,99979	0,99409	0,99261
EM_{gau}	-0,00008	-0,00009	-0,00015	0,00043
RQEMP_{gau}	1,02131	0,99828	0,97847	0,98744

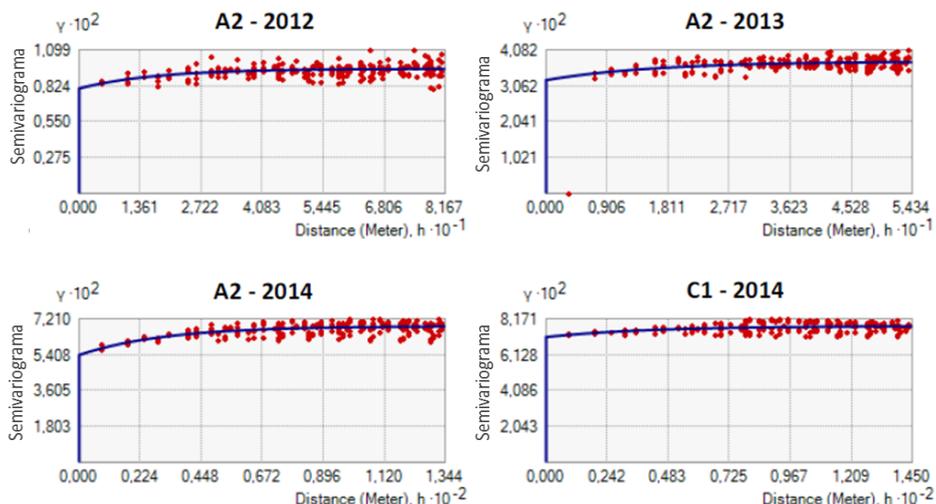
Fonte: próprio autor, 2017.

Tabela 13 - Estimativas dos valores de efeito pepita (C0), contribuição (C1) e alcance (A0, em metros) para o modelo exponencial ajustado aos dados de incidência da doença nas parcelas A2 (anos 2012 a 2014) e C1 (ano 2014), e componente aleatória e grau de dependência espacial (GDE) presente nos dados, fazenda **Amanda**.

	A2 - 2012	A2 - 2013	A2 - 2014	C1 - 2014
C0	0,00804	0,03226	0,05395	0,07136
C1	0,00151	0,00531	0,01452	0,0063
A0 (m)	51,41	49,09	93,79	124,63
C0/C1	5,32	6,07	3,71	11,33
Comp. aleatória	Muito signif.	Muito signif.	Muito signif.	Muito signif.
(C0/ C0+C1)x100	84,19	85,87	78,79	91,89
GDE	Fraco	Fraco	Fraco	Fraco

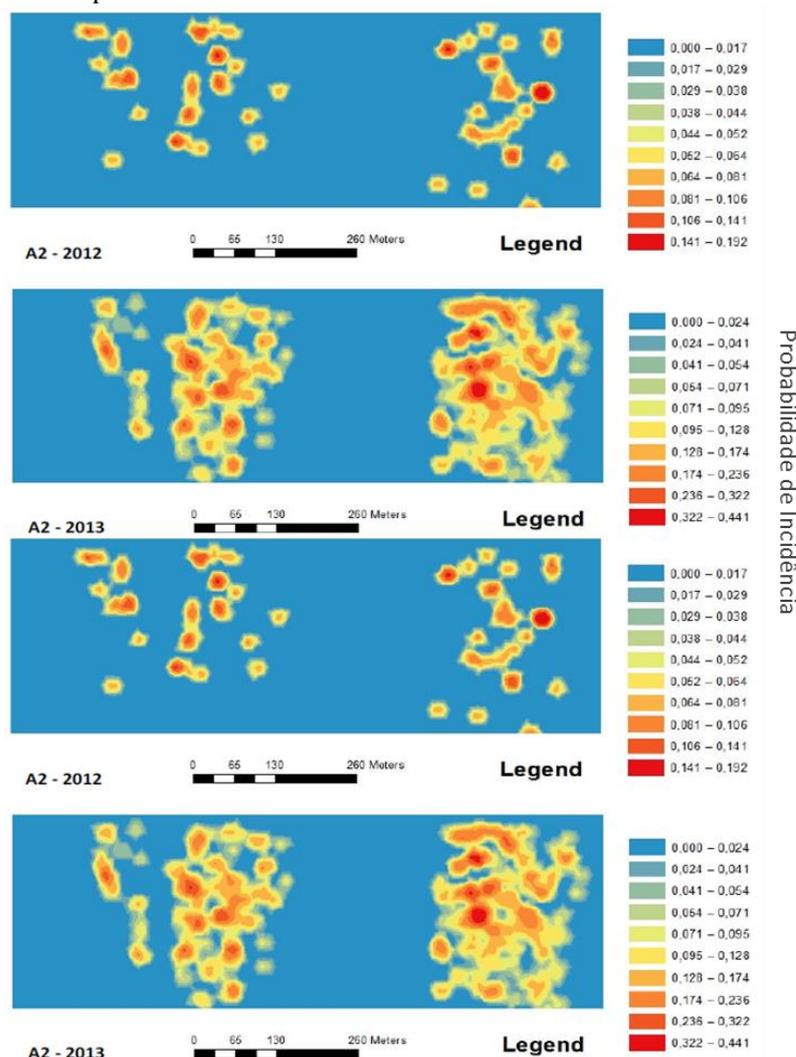
Fonte: próprio autor, 2017.

Figura 11 - Semivariogramas com ajuste do modelo exponencial aos dados de incidência da doença na fazenda **Amanda**, parcela A2, anos 2012 a 2014, e parcela C1, ano 2014.



Fonte: próprio autor, 2017.

Figura 12 - Mapas de **probabilidade de incidência** da doença na fazenda **Amanda**, parcelas A2, anos 2012 a 2014, e C1, ano 2014, construídos sob o modelo exponencial.



Fonte: próprio autor, 2017.

Ausência de dependência espacial – As observações nos semivariogramas para as parcelas A3, A4, A5 e A6 da fazenda Bethânia, ajustando o modelo efeito pepita puro para os anos 2011 a 2014 (**Tabelas 9**), ou seja, a distribuição da doença é aleatória ou ao acaso, não tendo focos ou progresso a partir deles. Dessa forma, os mapas de krigagem foram gerados (**Figuras 7**), para simples visualização dos focos da doença dentro de cada parcela nos anos de 2011 a 2014 (**Figuras 8**). Nos anos 201 a 2014, da fazenda Amanda, para as parcelas A1, B1, na parcela A2 para o ano 2011 e na parcela C1 para os anos 2011 a 2013, não houve dependência espacial para o Amarelecimento fatal do dendezeiro (**Tabela 10**), o que pode ser constatado por meio da ausência de estrutura de dependência espacial entre as observações nos semivariogramas (**Figuras 9**). Dessa forma, os mapas de krigagem também foram gerados, considerando o modelo efeito pepita puro (**Figura 10**).

Salles (2011) observou que em parcelas com altas infecções há uma tendência à aleatoriedade na distribuição espacial do AF. Os resultados demonstraram maior dependência espacial nas parcelas em

início de disseminação da doença. Este fato não foi observado no presente trabalho, pois no primeiro ano de avaliação já não foi possível ajustar nenhum modelo de distribuição espacial.

Presença de relações espaciais - Em alguns anos e parcelas da fazenda Amanda ocorreu leve dependência espacial, ajustaram-se os modelos esférico, exponencial e gaussiano a esses conjuntos de dados. Com base nos critérios de validação cruzada, em todas as situações, o modelo exponencial ajustou-se melhor às estruturas das nuvens de pontos dos semivariogramas da parcela A2 nos anos de 2012 a 2014. De forma semelhante, esse modelo apresentou melhor ajuste para os dados de incidência da doença para a parcela C1 no ano de 2014 (**Figura 11**). Em todas as situações, os dados da parcela A2 para os anos de 2012 a 2014 e os dados da parcela C1 para o ano de 2014 apresentaram alto grau de aleatoriedade e baixo grau de dependência espacial (**Tabela 11**). Os valores de alcance para a parcela A2 variaram de 49,09 m a 93,79 m. Já para a parcela C1 no ano de 2014, o alcance foi de 124,63 m (**Tabela 12**).

Sales (2011) observou a distribuição espacial do Amarelecimento Fatal, com dados cedidos pela empresa Agropalma, que algumas parcelas tiveram melhor ajuste ao modelo esférico e outras se adequaram ao modelo linear. Os resultados indicaram moderada dependência espacial e constatou-se que o raio de influência variou de 18 a 50 m, concluindo que o comportamento da doença é de origem biótica. Van De Lander (1999) utilizou a geoestatística para analisar a variação espacial da doença em plantações do Suriname. Na maioria dos blocos o modelo esférico foi ajustado, indicando que há duas formas de dispersão. A primeira funciona a partir de distâncias curtas causando um foco distinto, o que aumenta a intensidade e o diâmetro, indicando transmissão de árvore em árvore, tipicamente dentro do bloco de dispersão. O segundo mecanismo seria para as ocorrências de árvores doentes que estão espalhados por distâncias maiores, indicando dispersão de diferentes fontes. Ele conclui que a dispersão se dá a favor do vento sendo compatível a hipótese de que o agente causal do AF seja transmitido por vetores, e o deslocamento do vetor se dá no mesmo sentido do vento. Outras pesquisas com patossistemas envolvendo fitopatógenos de solos mostram que o arranjo espacial se dá de forma agregada (MEDEIROS, 2010).

De acordo com as análises geoestatísticas de ambas as fazendas, Amanda e Bethânia, das oito parcelas, os novos relatos da doença progrediram ao longo de 4 anos, porém de forma aleatória ou sem dependência espacial e na grande maioria com efeito pepita puro, ou seja, sem a possibilidade de ajustar modelos para Krigagem ou confecção de mapas. Na prática não houve disseminação de inóculo de um patógeno a partir de um foco. Indicando que a possível causa ou etiologia do AF seja abiótica, ou seja dependente de fatores do ambiente, clima e/ou solo.

5.4 Análise da dinâmica e estrutura dos focos do Amarelecimento Fatal

Fazenda Bethânia

Na fazenda Bethânia, o número de focos por 1000 plantas (NFM) no ano de 2011 foi maior para a parcela A6, com 9,08 focos, e nesta mesma parcela foi observada a maior incidência da doença nesse período, 0,96% (**Tabela 13**). Os números de focos unitários por 1000 plantas (NF1M) no ano de 2011 foram idênticos ao NFM nas parcelas A3, A4 e A5, pois 100% dos focos foram unitários.

Tabela 14 - Número de focos por 1000 plantas (NFM), número de focos unitários por 1000 plantas (NF1M), percentagem de focos unitários (%FU), número médio de plantas por foco (NMPF) e incidência (%) do Amarelecimento fatal do dendezeiro na fazenda Bethânia.

Ano	Parcela	NFM	NF1M	%FU	NMPF	Incidência (%)
2011	A3	5,04	5,04	100,00	1,00	0,50
	A4	1,41	1,41	100,00	1,00	0,14
	A5	2,69	2,69	100,00	1,00	0,32
	A6	9,08	8,60	94,74	1,05	0,96
2012	A3	31,39	26,12	83,21	1,20	5,02
	A4	32,92	26,46	80,37	1,28	6,04
	A5	17,60	14,91	84,72	1,15	6,21
	A6	19,59	18,16	92,68	1,10	5,16
2013	A3	52,92	40,78	77,06	1,49	35,21
	A4	53,32	33,73	63,26	1,72	33,71
	A5	12,22	11,25	92,00	1,12	31,34
	A6	53,51	39,66	74,11	1,44	30,20
2014	A3	75,37	41,24	54,71	2,41	49,14
	A4	70,49	33,93	48,14	2,80	49,83
	A5	74,82	38,63	51,63	2,60	48,75
	A6	76,45	39,66	51,88	2,39	46,77

Fonte: próprio autor, 2017.

No ano de 2011, todas as parcelas apresentaram índice médio de forma de focos (IFF) igual a 1, ou seja, todos os focos foram isodiamétricos. Além disso, o índice médio de compactação de focos (ICF) nas parcelas A3, A4 e A5 também foi igual a 1, o que sugere focos mais compactos, isto é, maior agregação e proximidade entre todas as plantas pertencentes ao foco (Nelson, 2006). No caso da parcela A6, em 2011 houve a presença de um único foco não unitário, ocupando duas linhas e duas colunas, e seu índice médio de forma de focos não unitários (IFFNU) foi igual a 1. Já o seu índice médio de compactação de focos não unitários (ICFNU) foi igual a 0,5, pois esse foco possuía apenas duas plantas doentes (**Tabela 14**).

Tabela 15 - Índice médio de forma de focos (IFF), índice médio de compactação de focos (ICF), índice médio de forma de focos não unitários (IFFNU) e índice médio de compactação de focos não unitários (ICFNU) do Amarelecimento fatal do dendezeiro na fazenda Bethânia.

Ano	Parcela	IFF	ICF	IFFNU	ICFNU
2011	A3	1,00	1,00	-	-
	A4	1,00	1,00	-	-
	A5	1,00	1,00	-	-
	A6	1,00	0,97	1,00	0,50
2012	A3	1,03	0,96	1,17	0,75
	A4	1,01	0,95	1,05	0,75
	A5	1,03	0,96	1,18	0,73
	A6	1,06	0,99	1,83	0,83
2013	A3	1,04	0,92	1,15	0,67
	A4	1,05	0,89	1,13	0,70
	A5	1,02	0,98	1,21	0,75
	A6	1,04	0,92	1,14	0,70
2014	A3	1,05	0,83	1,11	0,63
	A4	1,07	0,80	1,14	0,61
	A5	1,05	0,81	1,10	0,61
	A6	1,05	0,82	1,10	0,62

Fonte: próprio autor, 2017.

A partir do ano 2012, os valores de IFF ficaram levemente acima de 1, variando entre 1,01 (parcela A4 em 2012) e 1,07 (parcela A4 em 2014). Esses valores indicam que os focos apresentaram comprimento levemente maior na direção entre as linhas de plantio (**Tabela 14**).

Fazenda Amanda

Houve aumento gradual do NFM em função do tempo, com valores saltando de aproximadamente 3,71 no ano de 2011 para valores em torno de 65,91 em 2014 (**Tabela 15**). Também houve aumento do NF1M entre 2011 e 2014, sugerindo que ao mesmo tempo em que há a formação de focos não unitários, novos focos unitários também são formados, contribuindo para o aumento da incidência da doença. A redução na %FU em função do tempo está relacionada a agregação de focos unitários nas parcelas, contribuindo para o aumento do NMPF (**Tabela 15**).

Tabela 16 - Número de focos por 1000 plantas (NFM), número de focos unitários por 1000 plantas (NF1M), porcentagem de focos unitários (%FU), número médio de plantas por foco (NMPF) e incidência (%) do Amarelecimento fatal do dendezeiro na fazenda Amanda.

Ano	Parcela	NFM	NF1M	%FU	NMPF	Incidência (%)
2011	A1	3,53	3,53	100,00	1,00	0,53
	A2	5,93	5,93	100,00	1,00	0,84
	B1	3,42	3,42	100,00	1,00	0,62
	C1	1,97	1,97	100,00	1,00	0,22
2012	A1	26,29	21,78	82,84	1,22	4,53
	A2	20,29	17,80	87,69	1,12	4,78
	B1	14,31	13,46	94,03	1,07	2,97
	C1	12,58	12,34	98,04	1,04	1,78
2013	A1	60,23	37,28	61,89	1,69	22,70
	A2	56,20	39,65	70,56	1,59	19,89
	B1	46,35	35,24	76,04	1,30	13,63
	C1	35,78	30,10	84,14	1,26	12,02
2014	A1	72,00	38,06	52,86	2,57	37,98
	A2	70,56	40,27	57,08	2,23	32,91
	B1	60,87	39,94	65,61	1,71	26,36
	C1	60,20	37,26	61,89	1,84	23,49

Fonte: próprio autor, 2017.

No ano de 2011, os dados de IFF foram iguais a 1, ou seja, os focos de todas as parcelas foram isodiamétricos (**Tabela 16**). Isso porque nesse ano, 100% dos focos eram unitários. O mesmo é válido para o ICF nesse ano.

Tabela 17 - Índice médio de forma de focos (IFF), índice médio de compactação de focos (ICF), índice médio de forma de focos não unitários (IFFNU) e índice médio de compactação de focos não unitários (ICFNU) do Amarelecimento fatal do dendezeiro na fazenda Amanda.

Ano	Parcela	IFF	ICF	IFFNU	ICFNU
2011	A1	1,00	1,00	-	-
	A2	1,00	1,00	-	-
	B1	1,00	1,00	-	-
	C1	1,00	1,00	-	-
2012	A1	1,00	0,95	1,03	0,68
	A2	1,05	0,98	1,38	0,88
	B1	1,01	0,97	1,13	0,50
	C1	1,00	0,99	1,00	0,33
2013	A1	1,07	0,90	1,18	0,73
	A2	1,05	0,89	1,16	0,64
	B1	1,03	0,94	1,14	0,75
	C1	1,03	0,97	1,16	0,80
2014	A1	1,06	0,83	1,12	0,65
	A2	1,09	0,84	1,21	0,64
	B1	1,06	0,89	1,16	0,68
	C1	1,04	0,86	1,11	0,64

Fonte: próprio autor, 2017.

Na fazenda Bethânia, o número de focos por 1000 plantas (NFM) no ano de 2011 foi maior para a parcela A6, com 9,08 focos, e nesta mesma parcela foi observada a maior incidência da doença

nesse período, 0,96% (**Tabela 13**). Os números de focos unitários por 1000 plantas (NF1M) no ano de 2011 foram idênticos ao NFM nas parcelas A3, A4 e A5, pois 100% dos focos foram unitários.

Pequena variação foi observada para a parcela A6, onde 94,7% dos focos foram unitários e, conseqüentemente, o número médio de plantas por foco (NMPF) foi ligeiramente superior em relação às demais parcelas em 2011. Vale ressaltar que ao longo dos quatro anos de estudo, não houve predomínio de valores máximos para uma única parcela quanto as variáveis analisadas (**Tabela 13**). De forma geral, o NFM saltou de 1,41 (parcela A4) em 2011 para 76,45 em 2014. Já o aumento do NF1M nesse intervalo ocorreu em menor velocidade quando comparado ao NFM, pois ao longo do tempo, houve redução na %FU. Essa redução está relacionada à agregação de focos unitários nas parcelas, os quais contribuem para o aumento do NMPF (**Tabela 13**).

Apesar dessa redução e conseqüente aumento no número de focos não unitários, verifica-se que na melhor das hipóteses, o NMPF não chegou a 3 plantas, o que sugere fraca dependência espacial da doença, confirmando o resultado da análise geoestatística de aleatoriedade e falta de agregação, sem a presença de inóculo disseminado a longas distâncias.

No ano de 2011, todas as parcelas apresentaram índice médio de forma de focos (IFF) igual a 1, ou seja, todos os focos foram isodiamétricos. Além disso, o índice médio de compactação de focos (ICF) nas parcelas A3, A4 e A5 também foi igual a 1, o que sugere focos mais compactos, isto é, maior agregação e proximidade entre todas as plantas pertencentes ao foco (NELSON,2006). Entretanto, esse padrão foi observado nessas parcelas por tratarem-se de focos unitários, os quais são obrigatoriamente isodiamétricos e os mais compactos possíveis. No caso da parcela A6, em 2011 houve a presença de um único foco não unitário, ocupando duas linhas e duas colunas, e seu índice médio de forma de focos não unitários (IFFNU) foi igual a 1. Já o seu índice médio de compactação de focos não unitários (ICFNU) foi igual a 0,5, pois esse foco possuía apenas duas plantas doentes (**Tabela 14**).

A partir do ano 2012, os valores de IFF ficaram levemente acima de 1, variando entre 1,01 (parcela A4 em 2012) e 1,07 (parcela A4 em 2014). Esses valores indicam que os focos apresentaram comprimento levemente maior na direção entre as linhas de plantio. Para os dados de IFFNU, essa tendência fica mais evidente, já que os focos unitários, que são isodiamétricos, não são levados em conta. O ICF, de forma geral, reduziu em função dos anos. Isso porque o aumento no número de plantas doentes pertencentes a um mesmo foco apresentou incremento inferior ao crescimento das linhas e colunas ocupadas por esses focos ao longo do tempo, tornando-os menos agregados (**Tabela 14**). De forma geral, esse mesmo comportamento foi observado para o ICFNU.

Na fazenda Amanda houve aumento gradual do NFM em função do tempo, com valores saltando de aproximadamente 3,71 no ano de 2011 para valores em torno de 65,91 em 2014 (**Tabela 15**). Também houve aumento do NF1M entre 2011 e 2014, sugerindo que ao mesmo tempo em que há

a formação de focos não unitários, novos focos unitários também são formados, contribuindo para o aumento da incidência da doença. A redução na %FU em função do tempo está relacionada a agregação de focos unitários nas parcelas, contribuindo para o aumento do NMPF (**Tabela 15**).

No ano de 2011, os dados de IFF foram iguais a 1, ou seja, os focos de todas as parcelas foram isodiamétricos (**Tabela 16**). Isso porque nesse ano, 100% dos focos eram unitários. O mesmo é válido para o ICF nesse ano. A partir de 2012, observa-se leve aumento do IFF, sugerindo que os focos apresentam comprimento levemente maior na direção entre as linhas de plantio. Essa tendência torna-se mais nítida para o IFFNU, pois os focos unitários não são levados em consideração. O ICF, de forma geral, apresentou redução ao longo dos anos de estudo. Isso porque ao longo do tempo houve crescimento no tamanho das linhas e colunas ocupadas por esses focos, mas esse aumento foi superior à capacidade de incremento de plantas doentes nos mesmos, tornando-os menos agregados. Doenças como o greening, transmitido pelo psílídeo *Diaphorina citri* apresentam a formação de focos no plantio (COSTA *et. al.*, 2010), por exemplo.

Laranjeiras (1998), para a análise da Clorose Variegada do Citros (CVC) encontrou a formação clara de focos nas bordaduras dos plantios, indicando que há um patógeno e vetor envolvidos na disseminação da doença. No estudo realizado por Silva *et. al.* (2001) com o vira-cabeça do fumo, concluíram que os arranjos espaciais de plantas doentes são influenciados pela interação de vários fatores, incluindo o ambiente e possíveis vetores.

A agregação de plantas doentes no plantio pode significar doenças de origem biótica quanto abiótica. Para 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. As doenças de causa biótica quando o hospedeiro é perene, exibem padrões definidos de aparecimento e de crescimento de focos, além de mostrarem agregação estatisticamente significativa de plantas doentes a partir de incidências relativamente elevadas, usualmente entre 10% e 15% (LARANJEIRA, *et. al.*, 1998).

Na análise de focos ao longo dos quatro anos a maioria dos focos foram unitários, ou seja, com apenas uma planta, com pequena agregação de focos e poucas plantas infectadas agregadas ao longo do tempo nas margens das reboleias. Isto é, as novas plantas infectadas surgem de forma aleatória e seus focos são isodiamétricos, sem tendência de aumento na linha ou coluna ou seguindo direção de disseminação por qualquer agente, seja vento, inseto ou tratos culturais.

6 CONCLUSÕES

A ausência de padrões epidemiológicos claros, que caracterizem o aparecimento e o crescimento do AF, sugere o envolvimento de fatores não bióticos na caracterização da doença. Dessa forma, tornasse necessário estudar a relação do progresso espaço temporal da doença com os fatores

ambientais e do hospedeiro, entre eles o clima, a nutrição da planta, produtividade, textura e estrutura do solo.

7 RECOMENDAÇÕES

Apesar de não se conhecer qual o fator externo que predispõe o surgimento do AF é possível, com adequado manejo agrônomico, prevenirmos as altas incidências da enfermidade e evitar perdas na produção. Práticas como a drenagem de áreas sujeitas a alagamentos, mesmo que temporários, são alternativas para promover o declínio da doença, uma vez que trabalhos recentes apontam que falta de oxigenação nas raízes permite um ambiente favorável para o estabelecimento de agentes patogênicos oportunistas sendo estes os responsáveis pelo progresso da enfermidade. A adição de adubos com propriedades que estimulam o desenvolvimento radicular também deve ser um manejo a ser adotado, visto que o uso constante do solo leva a sua acidificação e este pode ser um fator propulsor para o declínio da saúde das raízes e da rizosfera, o que causa a deficiência temporária de alguns elementos químicos essenciais para o desenvolvimento da planta, proporcionando condições adequadas para o estabelecimento de microrganismos oportunistas.

Entretanto é necessário realizar novos estudos sobre o progresso da doença ao longo do espaço temporal e também sua relação com o clima e variáveis de solo podendo assim inferir o porquê o AF tem fase exponencial em determinados anos e determinados meses dentro de um ano.

8 BENEFÍCIOS POTENCIAIS

Este estudo auxiliará as empresas e produtores de palma de óleo a entender a dinâmica da distribuição da doença, também é possível visualizar quais os meses e áreas com maior incidência da doença, auxiliando assim no manejo das plantas doentes e um melhor aproveitamento da equipe operacional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACOSTA, A; MUNIYAR, F. A. Efecto de drenaje sobre el desarrollo de síntomas de PC. **Better Crops Internacional**, v. 17, n. 2, 2003.
- AGRIOS, G. N. Plant disease epidemiology. **In:** AGRIOS, G. N. Plant pathology. 4th ed. San Diego: Academic Press, 1997. p.153-173.
- ALVES, M. C. *et al.* Geoestatística como metodologia para estudar a dinâmica espaço-temporal de doenças associadas a *Colletotrichum* spp. transmitidos por sementes. **Fitopatologia Brasileira**, v. 31, n. 6, p. 557-563, nov./dez., 2006.
- ALVES, S. A. O. **Resgate in vitro de híbridos interespecíficos de dendezeiro (*Elaeis guineensis* x *Elaeis oleífera*)**. 2007. 63 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2007.
- _____. **Sustentabilidade da agroindústria de palma no Estado do Pará**. 2011. 161 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2011.
- ANDRIOTTI, J. L. S. **Fundamentos de estatística e geoestatística**. Rio Grande do Sul: Unisinos, 2003.
- BARBOSA, F. F. L. **Epidemiologia da Clorose Variegada dos Citros no Estado de São Paulo**. Tese (doutorado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2002.
- BERGAMIN FILHO, A. *et al.* Análise Espacial de Epidemias. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, v. 10, p. 155-218, 2002.
- BERGAMIN FILHO, A. *et al.* Análise espacial de epidemias. **In:** VALE, F. X. R.; JESUS JUNIOR, W.C.; ZAMBOLIM, L. (Eds.). Epidemiologia aplicada ao manejo de doenças de plantas. Belo Horizonte: Perfíl, 2004. p. 193-240.
- BERNARDES, M. S., VEIGA, A. S.; RAMOS, E. A doença de raiz amarelecimento fatal do dendezeiro. **In:** Congresso Brasileiro de Fitopatologia, 33., Sociedade Brasileira de Fitopatologia, Belém, PA. *Anais...* Revista Brasileira de Fitopatologia, v. 25, p. 454, 2000.
- BERTONE, M. V. A importância do programa de produção sustentável de palma de óleo: produtividade e sustentabilidade. **Agroenergia em Revista**, Ano II, n. 2, maio, 2011. p. 6-7.
- BOARI, A. de J. **Estudos realizados sobre o amarelecimento fatal do dendezeiro (*Elaeis guineensis* Jacq)**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2008.
- BODDEY, R. M. *et al.* Endophytic nitrogen fixation in sugarcane: present knowledge and future applications. **Plant and Soil**, v. 252, p. 139-149, 2003.
- BRIOSO, P. S. T. *et al.* Etiologia do amarelecimento fatal do dendezeiro. **In:** POLTRONIERI, L. S.; TRINDADE, D. R.; SANTOS, I. P. dos (Eds.). Pragas e doenças de cultivos amazônicos. 2. ed. Belém

(PA): Embrapa Amazônia Oriental; Brasília (DF): Embrapa Informação Tecnológica, 2008. v. 1. p. 325-350.

CAMBARDELLA, C. A. *et al.* Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994.

CAMPBELL, C. L.; MADDEN, L. V. **Introduction to plant disease epidemiology**. New York: J. Wiley & Sons, 1990.

CARVALHO, A. R. V. de; BALDANI, V. L. D.; REIS, V. M. **O Dendê (*Elaeis guineensis* Jacq.)**. Seropédica, RJ: Embrapa Agrobiologia, 2001. (Documentos, v. 138)

CHINCHILLA, C. The many faces of spear rots in Oil Palm: the need for an integrated management approach. **ASD Oil Palm Papers**, v. 32, p. 1-25, 2008.

CORLEY, R. H. V.; TINKER, P. B. H. **Diseases of the oil palm: The Oil Palm**. 5th. ed. Oxford: Wiley-Blackwell, 2015.

COSTA, M. *et al.* Spatial distribution of *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae) in citrus orchards. **Scientia - Agricola**, Piracicaba, v. 67, n. 5, p. 546-554, 2010.

DRANSFIELD, J. *et al.* **Genera Palmarum: the evolution and classification of palms**. Londres: Kew Publishing, Royal Botanical Garden, 2008. 732 p.

DUFF, A. the bud rot little leaf disease of the oil palm. **Journal of West African Institute for Oil palm Research**, v. 4, n. 14, p. 176–190, 1963.

DUFRENE, E.; SAUGIER, B. Gas exchange of oil palm in relation to light, vapour pressure deficit, temperature and leaf age. **Funtct. Ecol.**, v. 7, p. 97-104, 1993.

SILVA CARREÑO, Álvaro; MARTÍNEZ LÓPEZ, Gerardo. Plan Nacional de Manejo de La Pudricion del Cogollo: Fedepalma – Cenipalma. **Palmas**, Bogotá, Colombia, v. 30, n. 3, 2009. Disponível em: <http://www.fedepalma.org/documen/2009/plan_manejo_PC.pdf>

FERRAZ, G. A. S. **Cafeicultura de precisão: análise econômica e uso da geoestatística**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2010.

POLTRONIERI, Luiz Sebastião; VERZIGNASSI, Jaqueline Rosimeire (Eds.). **Fitossanidade na Amazônia: inovações tecnológicas**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2007.

FRANCISCON, L. *et al.* Modelo autológico espaço-temporal com aplicação à análise de padrões espaciais da leprose-dos-citros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 12, p. 1677-1682, dez., 2008.

FRANQUEVILLE, H. de. La pudrición del cogollo de la palma aceitera en América Latina. **Revisión preliminar de hechos y logros alcanzados**. Cirad, 2001.

GÄUMANN, E. **Principles of Plant Infection**. London: Crosby Lockwood & Sons, 1950.

GOMPERTZ, B.; PHILOS, T. Roy Soc London. P. 115-513, 1825.

GUERRA, P. A. G. Geoestatística operacional. Distrito Federal: DNPM, 1988.

- JEGER, M. J. **Spatial Components of Plant Disease Epidemics**. New Jersey: Prentice-Hall, 1989.
- JOWETT, D. J. A. Browing and B C Maning: Non-linear disease curves. **In:** KRANZ, J. (ed.). *Epidemics of Plant Diseases: mathematical analysis and modeling*. Springer-Verlag: New York, 1974. p. 115-136.
- LAMPARELLI, R. A. C.; ROCHA, J. V.; BORGHI, E. **Geoprocessamento e agricultura de precisão**. Guaíba: Agropecuária, 2001. 118 p.
- LAING, D. Deficiência temporária de Cálcio como causa primária do amarelecimento fatal do dendezeiro. **Informações Agronômicas**, n. 137, mar., 2012.
- LARANJEIRA, F. F. *et al.* Análise espacial do amarelecimento fatal do dendezeiro com ferramenta para elucidar sua etiologia. **Fitopatologia Brasileira**, v. 23, n. 3, p. 397-403, 1998.
- LIMA, D. L. *et al.* Caracterização da dispersão espacial de plantas aquáticas usando sensoriamento remoto e geoestatística. **Anais...** Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13., Florianópolis, 21-26 de abril 2007, INPE, p. 5879-5886.
- MAC MAHON, B.; PUGH, T. F. **Princípios y metodos de epidemiologia**. 2. ed., México: Prensa Médica Mexicana, 1975. 339 p.
- MAFFIA, P. N.; MIZUBUTI, E. S. G. Epidemiologia de doenças radiculares. **In:** MICHREFF, S. J.; DOMINGOS, E. G. T.; ANDRADE, M. M. *Ecologia e manejo de patógenos radiculares em solos tropicais*. Recife: UFRPE, 2005. p. 207-246.
- MARCUZZO, L. L.; BECKER, W. F.; FERNANDES, J. M. C. Alguns aspectos epidemiológicos da mancha bacteriana (*Xanthomonas* spp.) do tomateiro na região de Caçador/SC. **Summa Phytopathologica**, v. 35, n. 2, p. 132-135, 2009.
- MARIAU, D. (ed.). *Diseases of Tropical Tree Crops*. Montpellier: CIRAD-Science Publishers, 2001.
- MEDEIROS, J. S.; SANO, E. Análise multitemporal de imagens digitais do Landsat TM na detecção de áreas afetadas por ataques de lagartas (*Sibine fusca*) na cultura de dendê (*Elaeis guineensis*). **In:** Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 5., Natal. 11-15 de outubro de 1988. **Anais....** São José dos Campos, INPE, 1988.
- MEDEIROS, R. D. **Análise do arranjo espacial e determinação da estrutura de focos da resinose coqueiro (*Cocos nucifera* L.) na região de Neópolis, Sergipe**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Sergipe, 2010.
- MIRANDA, R. M.; MOURA, R. D. Óleo de dendê, alternativa ao óleo diesel como combustível para geradores de energia em comunidades da Amazônia. **In:** Encontro de Energia no Meio Rural, 3., Campinas, 2000.
- MULLER, A. A.; ALVES, R. M. **Avaliação de materiais genéticos de dendezeiro (*Elaeis guineensis* Jacq.) no Estado do Pará: uma alternativa de solução para o amarelecimento fatal**. Belém, PA: Embrapa CPATU, 1998.

MUNÉVAR, F.; ACOSTA, A. Bud Rot in Oil Palm Plantations: Link to Soil Physical Properties and Nutrient Status. **Better Crops International**, v. 17, n. 2, nov., 2003.

MUNIZ, R. S. *et al.* Dinâmica do potencial redox em condições de alagamento em amostras de Latossolo Amarelo, textura média do nordeste paraense. **In:** Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 33., Uberlândia – MG, 2011.

NASCIMENTO, S. V. do. *et al.* Differential accumulation of proteins in oil palms affected by fatal yellowing disease. PLoS ONE, v. 13, n. 4, mar., 2018. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0195538>

NELSON, P. N. *et al.* Using soil water depletion to measure spatial distribution of root activity under oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). **Planta and Soil**, v. 286, p. 109-121, 2006.

NUNES, W. M. C. *et al.* Análise espaço-temporal da clorose variegada dos citros no Noroeste do Paraná, com uso de PCR para detecção de *Xylella Fastidiosa*. **Acta Science Agronomy**, v. 28, n. 3, p. 421-425, July/Sept., 2006.

NUTTER JR., F. W. The role of plant disease epidemiology in developing successful integrated disease management programs. **In:** CIANCIO, A; MUKERJI, K. G. General Concepts in Integrated Pest and Disease Management. The Netherlands: Springer, 2007. p. 45-79.

RAMOS, E. J.; VEIGA, A. S.; FURLAN JR., J. **Comportamento do dendezeiro ao amarelecimento fatal em área de replantio, sob diferentes formas de manejo.** Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2006. (Documentos, v. 243)

RODRIGUEZ, T. E. *et al.* Influência das propriedades físicas do solo na ocorrência do amarelecimento fatal do dendezeiro. **In:** Seminário Internacional Agronegócio do dendê: uma alternativa social, econômica e ambiental para o desenvolvimento sustentável da Amazônia. Belém, PA, 2000.

RATKOWSKY, D.; GILLIS, P. The behaviour of estimators of the parameters of various yield-density relationships. **Biometrics**, v. 34, n. 2, p. 191–198, jun., 1978.

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

SILVA, H. M. *et al.* Estado atual dos conhecimentos sobre a doença Amarelecimento Fatal (AF) do dendezeiro (*Elaeis guineensis* Jacq) no estado do Pará. **In:** Workshop sobre a cultura de dendê. 1995, Manaus. **Anais...** Manaus: Embrapa-CPAA, 1996. p. 87-98.

SILVA, J. N. *et al.* Arranjo espacial do vira-cabeça do fumo em Arapiraca, estado de Alagoas. **Fitopatologia Brasileira**, v. 26, n. 4, p.721-725, 2001.

SOUZA, R. L. R.; VEIGA, A. S.; RAMOS, E. J. A. **Amarelecimento fatal do dendezeiro: identificação prática.** Belém, PA: Denpasa, 2000. 27 p.

- SOUZA JR, M. T., PD&I em suporte ao melhoramento genético de Palma de Óleo na Embrapa. **Agroenergia em Revista**, v. 2, n. 2, 2011, p.10-11. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/917157/1/2011AP39.pdf>>.
- TEIXEIRA, W. G. *et al.* Características físicas do solo adequadas para implantação e manutenção da cultura de palma de óleo na Amazônia. **In:** RAMALHO FILHO, A. *et al.* (Orgs.). Zoneamento agroecológico, produção e manejo para a cultura da palma de óleo na Amazônia. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010, p. 137-144.
- TORRES, G. A. *et al.* Evidencias circunstanciales de la asociación de especies de la familia *Tettigoniidae* con el desarrollo de las lesiones iniciales de la pudrición del cogollo de la palma de aceite. **Palmas**, v. 29, p. 53-62. 2008.
- TORRES, G. A. *et al.* Opciones de manejo de la pudrición del cogollo (PC) de la palma de aceite en áreas de baja incidencia de la enfermedad. **Palmas**, v. 29, p. 63-72. 2009.
- TORRES, G. A.; SARRIA, G. A.; MARTÍNEZ, G. Identificación temprana y manejo de la pudrición del cogollo de la palma de aceite. Bogotá: Cenipalma-Fedepalma-Sena SAC, 2010a.
- TORRES, G. A. *et al.* First report of bud rot caused by *Phytophthora palmivora* on African oil palm in Colombia. **Plant Dis.**, v. 94, p. 1163. 2010b.
- TORRES, G. A. *et al.* Bud Rot Caused by *Phytophthora palmivora*: A Destructive Emerging Disease of Oil Palm. **Phytopathology**, v. 106, n. 4, apr., 2016, p. 320-329.
- TRINDADE, D. R.; POLTRONIERI, L. S.; FURLAN, J. Abordagem sobre o estado atual das pesquisas para a identificação do agente causal do amarelecimento fatal do dendezeiro. **In:** POLTRONIERI, L. S.; TRINDADE, D. R.; SANTOS, I. P. (eds.). Pragas e doenças de cultivos amazônicos. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2005, p. 439-450.
- TURNER, P. D. **Oil Palm Diseases and Disorders**. Oxford; Kuala Lumpur: Oxford University, 1981.
- USDA - FAS – United States, Foreign Agriculture Service, Department of Agriculture, Production, Supply and Distribution (PS&D) database.
- VAN DE LANDE, H. L.; ZADOKS, J. C. Spatial patterns of spear rot in oil palm plantations in Surinam. **Plant Pathology**, v. 48, n. 2, p. 189-201, 1999.
- VAN DER PLANK, J. E. **Plant Diseases: Epidemics and Control**. New York: Academic Press, 1963.
- _____. **Principles of Plant Infection**. New York: Academic Press, 1975. 216p.
- _____. **Host-Pathogen Interaction in Plant Disease**. New York: Academic Press, 1982. 250 p.
- _____. **Disease Resistance in Plants**. 2nd. ed. New York: Academic Press, 1984. 194 p.
- VAN SLOBBE, W. G. Amarelecimento fatal (A.F.) at the oil palm estate Denpasa, Brazil, pp. 75-80 **Proceedings...** International Seminar on the Identification and Control of the Organism(s) and/or other factor(s) causing the spear rot syndrome in oil palm, 1., Paramaribo, Suriname, 8-12 March 1988. 91 p.

VENTURIERI, A. *et al.* Relação entre Ocorrência do Amarelecimento Fatal do Dendzeiro (*Elaeis guineensis* Jacq.) e Variáveis Ambientais no estado do Pará. **In:** Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14., abr., 2009, Natal-RN. **Anais...** Natal: INPE, 2009, p. 523-530.

VIEGAS, I. de J. M.; MULLER, A. A. **A cultura do dendzeiro na Amazônia brasileira.** Belém: Embrapa-Cpatu; Manaus: Embrapa-CPAA, 2000. 374p.

VIEIRA, S. R. *et al.* Mapeamento de Atributos de Solo e Planta Usando Geoestatística. **In:** BALASTREIRE, L. A. O estado da arte da agricultura de precisão no Brasil. Piracicaba, ESALQ, 2000. p. 165-169.

ANEXOS

ANEXO A – Tabelas dos resultados detalhados por fazenda e parcelas de estudo.

Tabela 1 - Modelos de regressão linear e não lineares, com dois e três parâmetros, ajustados para à incidência anual do Amarelecimento fatal do dendezeiro na fazenda Amanda, no período de 2012 a 2014.

Modelos com 2 parâmetros (y_0, r)								
Modelo	y_0	Erro padrão y_0	r	Erro padrão r	R^2	QMR		
Linear	-0,128	0,049	0,102*	0,018	0,94	0,00159		
Logístico	0,008	0,006	1,001*	0,189	0,97	0,00082		
Gompertz	0,0005	0,001	0,467*	0,050	0,99	0,00029		
Modelos com 3 parâmetros ($\beta_1, \beta_2, \beta_3$)								
Modelo	β_1	Erro padrão	β_2	Erro padrão	β_3	Erro padrão	R^2	QMR
Logístico	0,33**	0,003	647,6	70,260	2,16*	0,042	<u>0,99</u>	<u>1,25e⁻⁶</u>
Gompertz	0,42	0,035	18,48	4,690	1,007	0,119	0,99	0,00003

Tabela 2 - Modelos de regressão linear e não linear ajustados para os dados da curva de progresso de incidência anual do Amarelecimento fatal do dendezeiro na fazenda Bethânia, no período de 2012 a 2014.

Modelos com 2 parâmetros (y_0, r)								
Modelo	y_0	Erro padrão y_0	r	Erro padrão r	R^2	QMR		
Linear	-0,210	0,079	0,171*	0,029	0,95	0,00418		
Logístico	0,013	0,013	1,100	0,285	0,94	0,00428		
Gompertz	0,0002	0,001	0,635*	0,110	0,97	0,00194		
Modelos com 3 parâmetros ($\beta_1, \beta_2, \beta_3$)								
Modelo	β_1	Erro padrão	β_2	Erro padrão	β_3	Erro padrão	R^2	QMR
Logístico	0,504***	0,001	1.702,00*	56,39	2,681**	0,012	<u>0,99</u>	<u>2,67e-7</u>
Gompertz	0,547*	0,012	44,244	7,154	1,483*	0,070	0,99	0,00002

y_0 : inóculo inicial; r : taxa de progresso; β_1 : parâmetro do peso assintótico; β_2 : parâmetro de locação, sem interpretação biológica; β_3 : parâmetro de taxa de progresso; *Significativo por meio do teste t de Student ($p < 0,05$); ** Significativo por meio do teste t de Student ($p < 0,01$); *** Significativo por meio do teste t de Student ($p < 0,001$).

ANEXO A – Tabelas dos resultados detalhados por fazenda e parcelas de estudo.

Tabela 3 - Modelos de **regressão linear** ajustados para os dados linearizados de incidência mensal do Amarelecimento fatal do dendezeiro nas fazendas **Amanda e Bethânia**, no período de janeiro a dezembro de **2013**. Moju, PA

Amanda						
Transformação	y_0	Erro padrão y_0	r	Erro padrão r	R ²	QMR
Dados originais	-0,023***	0,005	<u>0,014***</u>	0,001	0,98	<u>0,00006</u>
Monito	-0,026***	0,005	0,016***	0,001	0,98	0,00008
Bethânia						
Transformação	y_0	Erro padrão y_0	r	Erro padrão r	R ²	QMR
Dados originais	-0,036	0,030	<u>0,035***</u>	0,004	0,88	<u>0,00232</u>
Monito	-0,052	0,033	0,042***	0,004	0,90	0,00285

Tabela 4 - Modelos de **regressão linear** ajustados para os dados linearizados de incidência mensal do Amarelecimento fatal do dendezeiro nas fazendas **Amanda e Bethânia**, no período de janeiro a dezembro de **2014**. Moju, PA

Amanda						
Transformação	y_0	Erro padrão y_0	r	Erro padrão r	R ²	QMR
Dados originais	-0,009	0,006	0,015***	0,001	0,97	0,00009
Monito	-0,012	0,006	<u>0,017***</u>	0,001	0,98	<u>0,00008</u>
Bethânia						
Transformação	y_0	Erro padrão y_0	r	Erro padrão r	R ²	QMR
Dados originais	-0,024*	0,008	<u>0,020***</u>	0,001	0,97	<u>0,00016</u>
Monito	-0,030**	0,008	0,022***	0,001	0,97	0,00017

y_0 : intercepto; r : taxa; *Significativo por meio do teste t de Student ($p < 0,05$); ** Significativo por meio do teste t de Student ($p < 0,01$); *** Significativo por meio do teste t de Student ($p < 0,001$).

ANEXO A – Tabelas dos resultados detalhados por fazenda e parcelas de estudo.

Tabela 5 - Modelos de **regressão não linear** ajustados para os dados da curva de progresso de incidência mensal do Amarelecimento fatal do dendezeiro na fazenda **Amanda**, no período de janeiro a dezembro de **2013 e 2014**.

Ano 2013

Modelos com 2 parâmetros (y_0, r)

Modelo	y_0	Erro padrão y_0	r	Erro padrão r	R ²	QMR
Linear	-0,023***	0,005	0,014***	0,001	0,98	0,00006
Monomolecular	-0,026***	0,005	0,015***	0,001	0,98	0,00007

Modelos com 3 parâmetros ($\beta_1, \beta_2, \beta_3$)

Modelo	β_1	Erro padrão	β_2	Erro padrão	β_3	Erro padrão	R ²	QMR
Logístico	0,147***	0,005	48,091**	12,09	0,576***	0,046	0,99	0,00002
Gompertz	0,169***	0,010	6,439***	0,911	0,308***	0,033	<u>0,99</u>	<u>0,00002</u>

Ano 2014

Modelos com 2 parâmetros (y_0, r)

Modelo	y_0	Erro padrão y_0	r	Erro padrão r	R ²	QMR
Linear	-0,009	0,006	0,015***	0,001	0,97	0,00009
Monomolecular	-0,014*	0,005	0,017***	0,001	0,98	0,00007

Modelos com 3 parâmetros ($\beta_1, \beta_2, \beta_3$)

Modelo	β_1	Erro padrão	β_2	Erro padrão	β_3	Erro padrão	R ²	QMR
Logístico	0,156***	0,006	23,580**	7,115	0,581***	0,065	0,99	0,00005
Gompertz	0,169***	0,006	4,992***	0,560	0,351***	0,030	<u>0,99</u>	<u>0,00002</u>

y_0 : inóculo inicial; r : taxa de progresso; β_1 : parâmetro do peso assintótico; β_2 : parâmetro de locação, sem interpretação biológica; β_3 : parâmetro de taxa de progresso; *Significativo por meio do teste t de Student ($p < 0,05$); ** Significativo por meio do teste t de Student ($p < 0,01$); *** Significativo por meio do teste t de Student ($p < 0,001$).

Tabela 6 - Resultados da validação cruzada para o modelo efeito pepita puro na parcela A4 da fazenda Bethânia, nos anos de 2011 a 2014.

	A4 - 2011	A4 - 2012	A4 - 2013	A4 - 2014
EM	-0,00002	0,00001	-0,00003	0,00191
RQEMP	0,96565	0,98483	0,99198	0,9916

ANEXO A – Tabelas dos resultados detalhados por fazenda e parcelas de estudo.

Tabela 7 - Resultados da validação cruzada para o modelo efeito pepita puro na parcela A5 da fazenda Bethânia, nos anos de 2011 a 2014.

	A5 - 2011	A5 - 2012	A5 - 2013	A5 - 2014
EM	0,00022	0,00018	-0,00038	-0,00046
RQEMP	0,98276	1,00574	1,00024	0,99665

Tabela 8 - Resultados da validação cruzada para o modelo efeito pepita puro na parcela A6 da fazenda Bethânia, nos anos de 2011 a 2014.

	A6 - 2011	A6 - 2012	A6 - 2013	A6 - 2014
EM	-0,00004	0,00052	-0,00063	-0,00082
RQEMP	0,97439	0,96487	0,98515	0,99122

Tabela 9 - Resultados da validação cruzada para o modelo efeito pepita puro na parcela B1 da fazenda Amanda, nos anos de 2011 a 2014.

	B1 - 2011	B1 - 2012	B1 - 2013	B1 - 2014
EM	0,00025	0,00042	0,00005	-0,00036
RQEMP	0,99106	0,98845	0,99054	0,98944

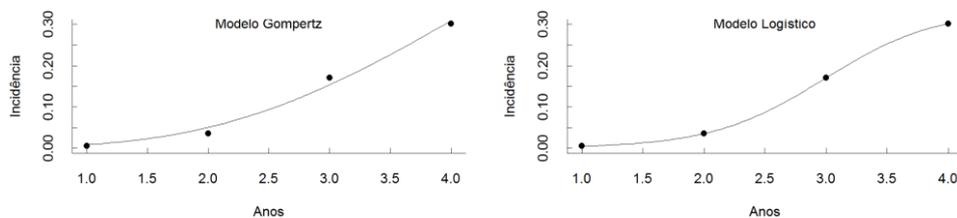
Tabela 10 - Resultados da validação cruzada para o modelo efeito pepita puro na parcela A2, ano 2011, e na parcela C1, anos 2011 a 2013, da fazenda Amanda.

	A2 - 2011	A2 - 2012	A2 - 2013	A2 - 2014
EM	-0,00004	0,00002	-0,00001	0,00079
RQEMP	1,09438	0,99486	1,03953	0,9937

ANEXO B – Figuras dos resultados detalhados por fazenda e parcelas de estudo.

Figura 13 - Representação do ajuste dos modelos de Gompertz, com dois parâmetros e Logístico, com três parâmetros aos dados reais da epidemia do Amarelecimento Fatal do Dendzeiro em Moju, PA, no período de 2012 a 2014.

Amanda



Bethânia

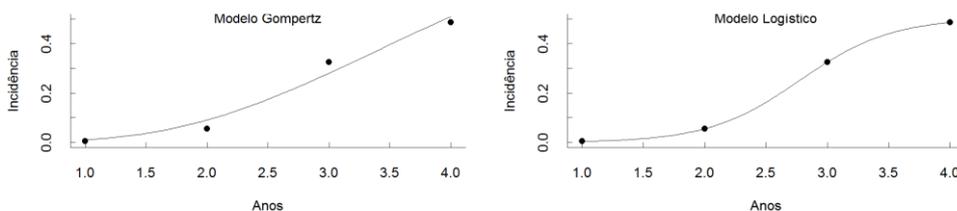
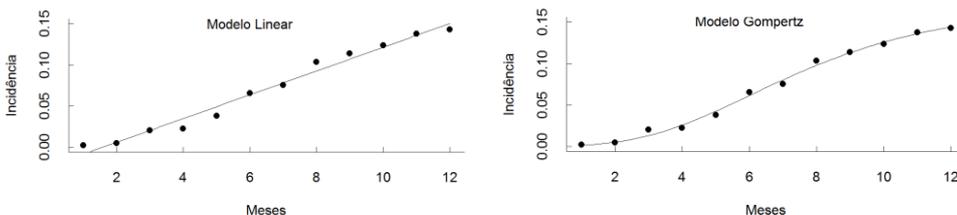


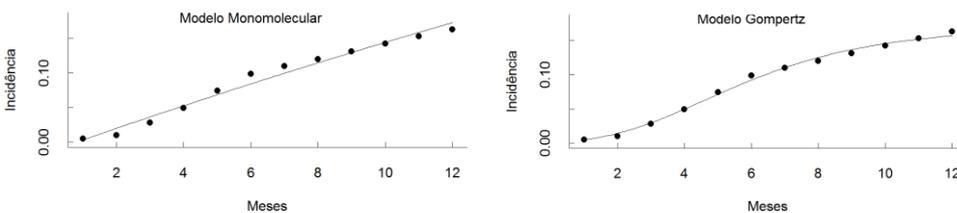
Figura 2 - Modelo linear e monomolecular com dois parâmetros (esquerda) e de Gompertz ajustado para a curva de progresso do Amarelecimento fatal do dendzeiro. Fazenda Amanda, Moju, PA.

Amanda

2013



2014

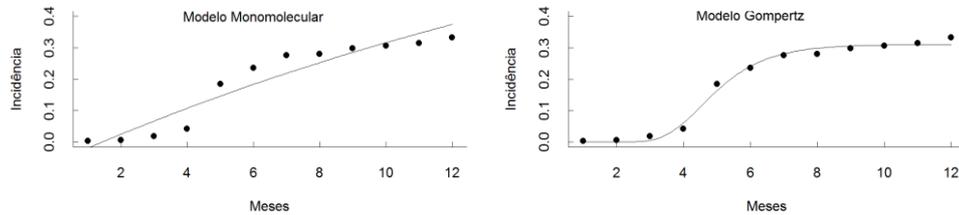


* valores de 1 a 12 no eixo dos meses correspondem aos meses de janeiro a dezembro de 2013 e 2014.

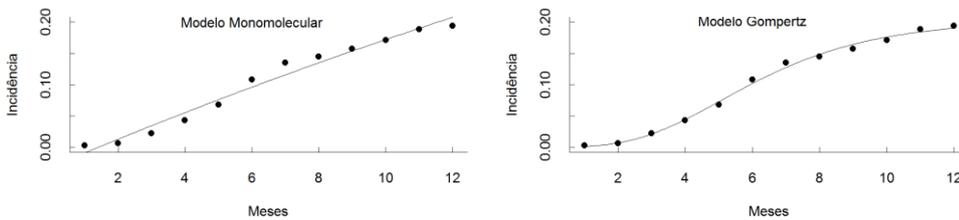
ANEXO B – Figuras dos resultados detalhados por fazenda e parcelas de estudo.

Figura 3 - Modelo monomolecular com dois parâmetros (esquerda) e de Gompertz ajustado para a curva de progresso do Amarelecimento fatal do dendezeiro. Fazenda Bethânia, Moju, PA.
Bethânia

2013

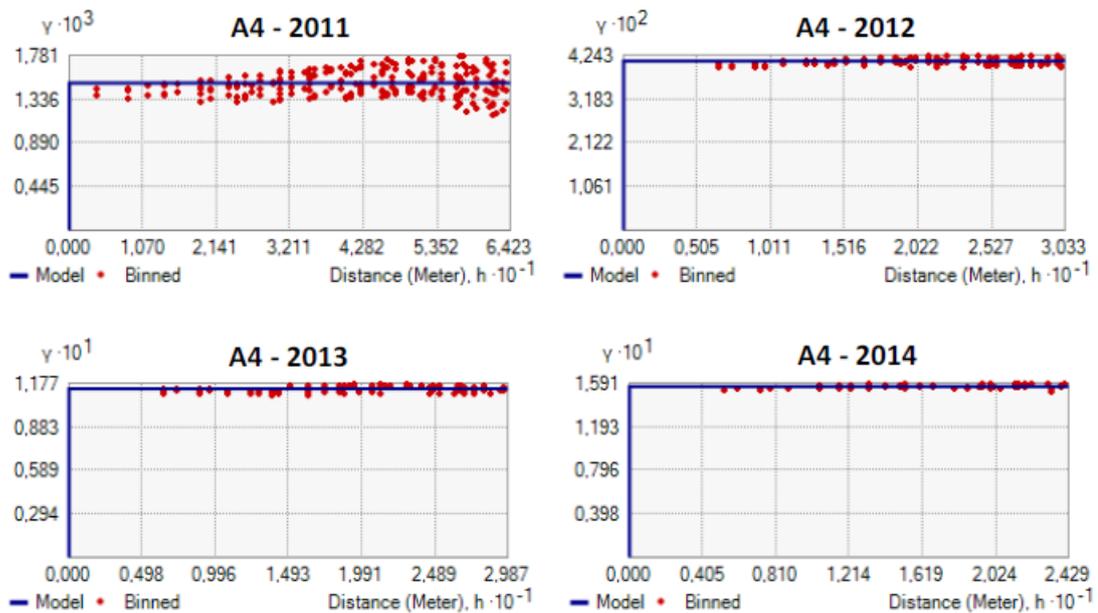


2014



* valores de 1 a 12 no eixo dos meses correspondem aos meses de janeiro a dezembro de 2013 e 2014.

Figura 4 - Semivariogramas com ajuste do modelo efeito pepita puro aos dados de incidência da doença na fazenda Bethânia, parcela A4, anos 2011 a 2014.



ANEXO B – Figuras dos resultados detalhados por fazenda e parcelas de estudo.

Figura 5 - Mapas de probabilidade de incidência da doença na fazenda Bethânia, parcela A4, anos de 2011 a 2014, construídos sob o modelo efeito pepita puro.

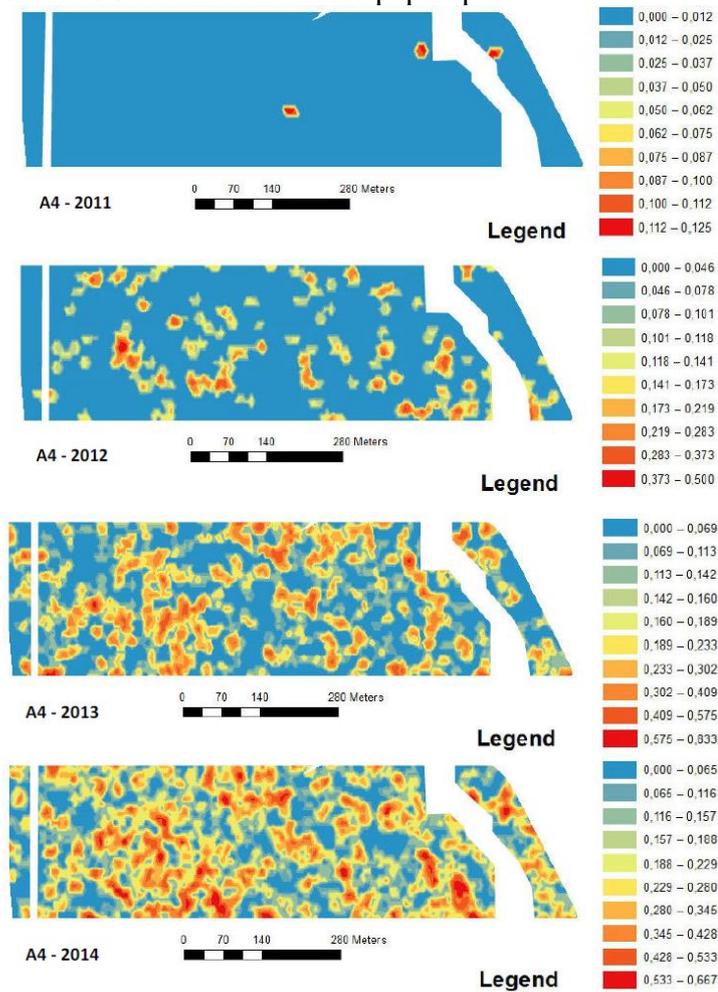
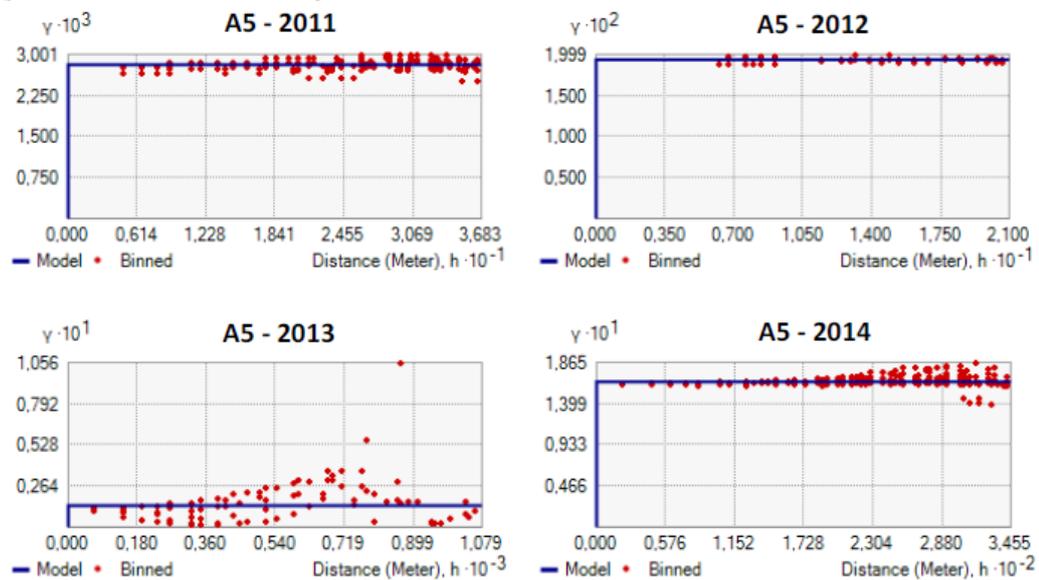


Figura 6 - Semivariogramas com ajuste do modelo efeito pepita puro aos dados de incidência da doença na fazenda Bethânia, parcela A5, anos 2011 a 2014.



ANEXO B – Figuras dos resultados detalhados por fazenda e parcelas de estudo.

Figura 7 - Mapas de probabilidade de incidência da doença na fazenda Bethânia, parcela A5, anos de 2011 a 2014, construídos sob o modelo efeito pepita puro.

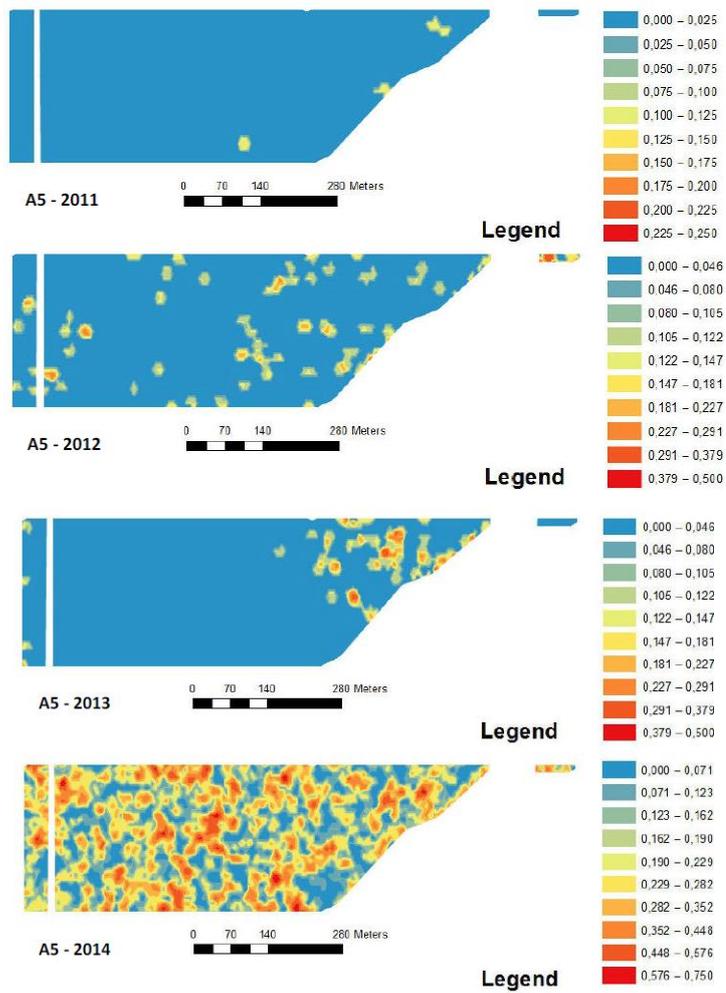
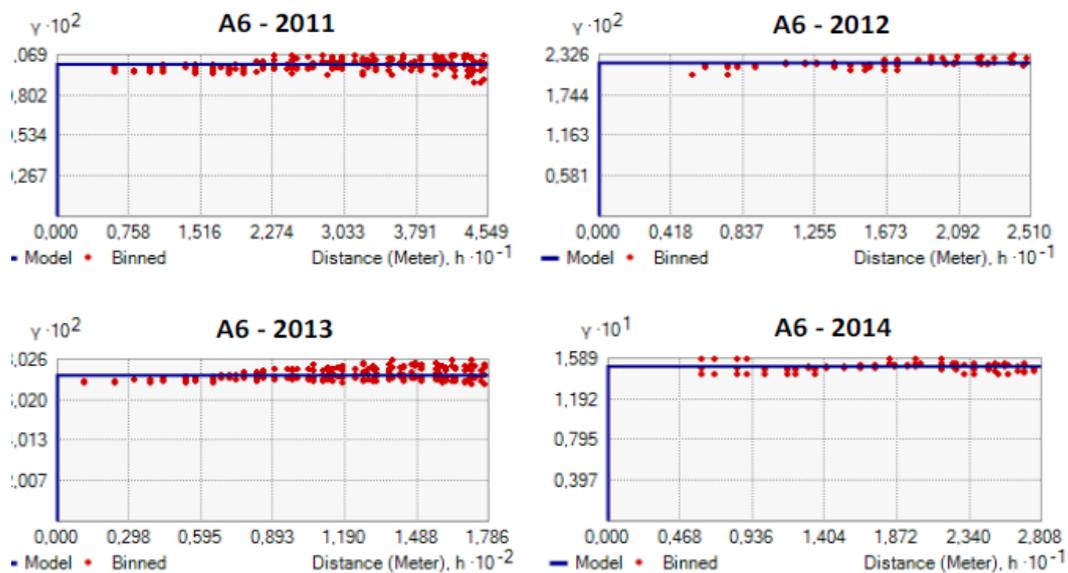


Figura 8 - Semivariogramas com ajuste do modelo efeito pepita puro aos dados de incidência da doença na fazenda Bethânia, parcela A6, anos 2011 a 2014.



ANEXO B – Figuras dos resultados detalhados por fazenda e parcelas de estudo.

Figura 9 - Mapas de probabilidade de incidência da doença na fazenda Bethânia, parcela A6, anos de 2011 a 2014, construídos sob o modelo efeito pepita puro.

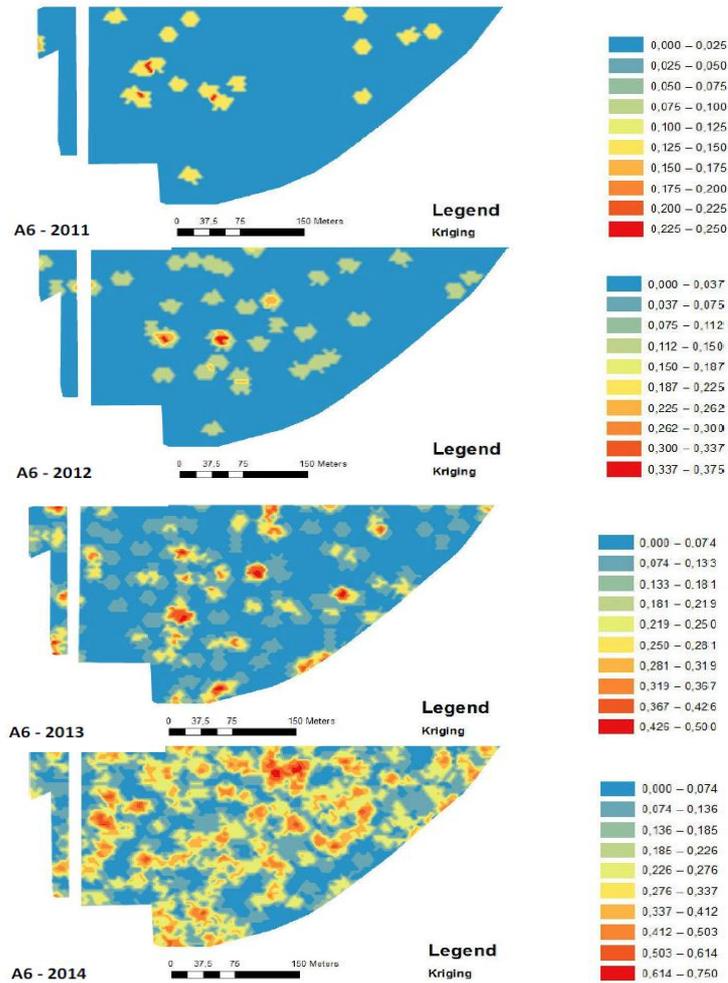
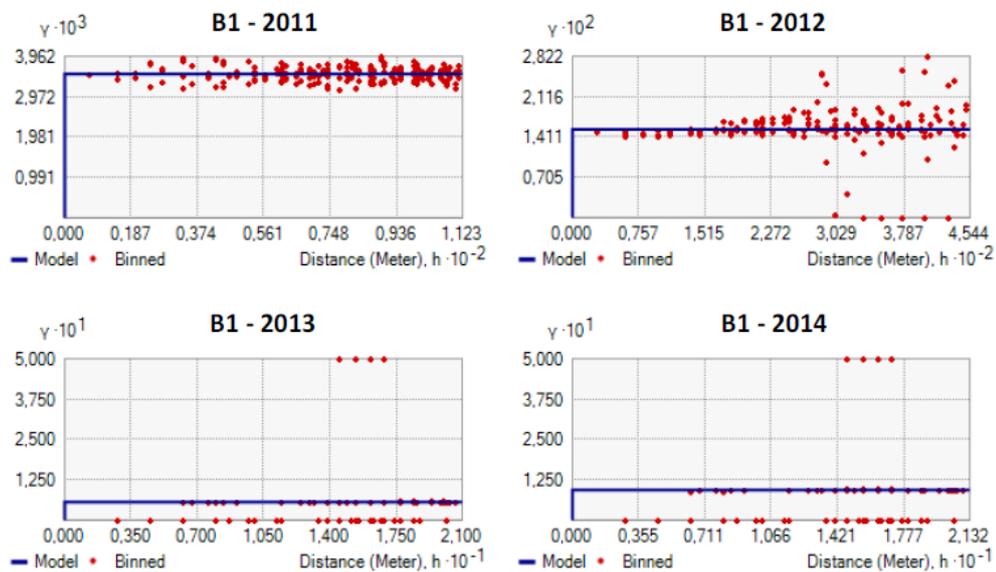


Figura 10 - Semivariogramas com ajuste do modelo efeito pepita puro aos dados de incidência da doença na fazenda Amanda, parcela B1, anos 2011 a 2014.



ANEXO B – Figuras dos resultados detalhados por fazenda e parcelas de estudo.

Figura 11 - Mapas de probabilidade de incidência da doença na fazenda Amanda, parcela B1, anos de 2011 a 2014, construídos sob o modelo efeito pepita puro.

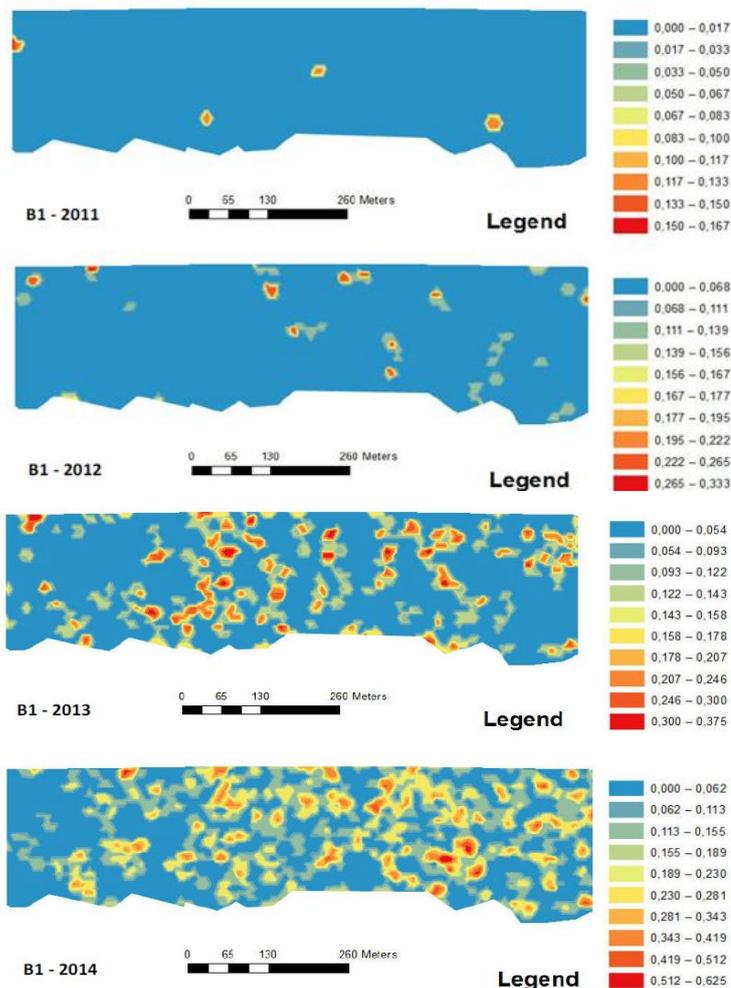
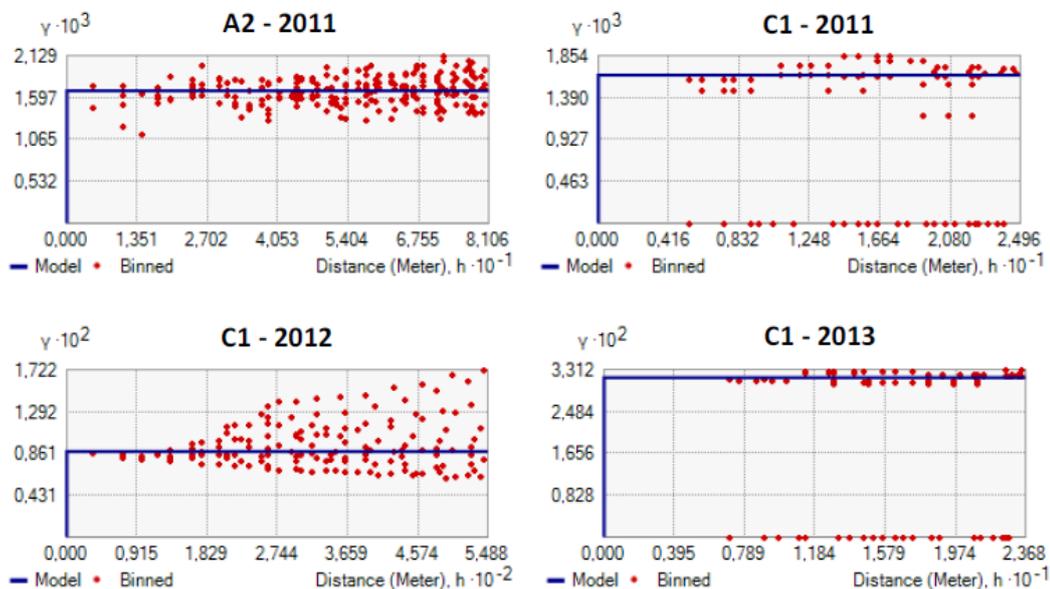


Figura 12 - Semivariogramas com ajuste do modelo efeito pepita puro aos dados de incidência da doença na fazenda Amanda, parcela A2, ano 2011, e parcela C1, anos 2011 a 2013.



ANEXO B – Figuras dos resultados detalhados por fazenda e parcelas de estudo.

Figura 1314 - Mapas de probabilidade de incidência da doença na fazenda Amanda, parcelas A2, ano 2011, e parcela C1, anos 2011 a 2013, construídos sob o modelo efeito pepita puro.

