



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

FELIPE OLIVEIRA RIBEIRO

ESTADO NUTRICIONAL E PRODUTIVIDADE DE AÇAIZEIRO FERTIRRIGADO
EM FUNÇÃO DA VARIABILIDADE ESPACIAL

BELÉM

2017



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

FELIPE OLIVEIRA RIBEIRO

ESTADO NUTRICIONAL E PRODUTIVIDADE DE AÇAIZEIRO FERTIRRIGADO
EM FUNÇÃO DA VARIABILIDADE ESPACIAL

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da
Amazônia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia,
como parte das exigências para a obtenção do título de
Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Rodrigues Fernandes

BELÉM
2017

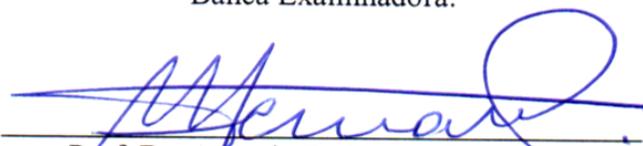
FELIPE OLIVEIRA RIBEIRO

ESTADO NUTRICIONAL E PRODUTIVIDADE DE AÇAIZEIRO FERTIRRIGADO
EM FUNÇÃO DA VARIABILIDADE ESPACIAL

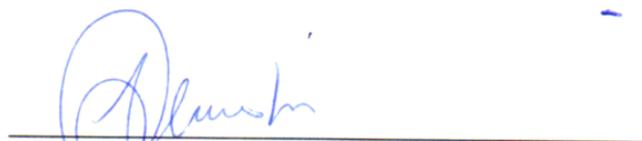
Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre.

Data da defesa: 22/02/2017.

Banca Examinadora:



Prof. Dr. Antonio Rodrigues Fernandes
Presidente/Orientador
Universidade Federal Rural da Amazônia



Dr. Rafael Silva Guedes
1º Examinador
Sem vínculo institucional



Dr. Engº Agrônomo Walter Vellasco Duarte Silvestre
2º Examinador
Universidade Federal Rural da Amazônia



Prof. Dr. Gilson Sergio Bastos de Matos
3º Examinador
Universidade Federal Rural da Amazônia

Ribeiro, Felipe Oliveira

Estado nutricional e produtividade de açaizeiro fertirrigado em função da variabilidade espacial / Felipe Oliveira Ribeiro. – Belém, 2017.

60 f.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2017.

Orientador: Dr. Antonio Rodrigues Fernandes.

1. *Euterpe oleracea* Mart 2. Açaizeiro – Produtividade
3. Variabilidade espacial – Açaizeiro 4. Estado nutricional –
Açaizeiro I. Fernandes, Antonio Rodrigues, (orient.) II. Título

CDD – 634.6

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, pois sem ele, não seria possível desfrutar de momentos tão importantes.

Aos meus pais e familiares; pelo esforço, dedicação e compreensão, em todos os momentos desta caminhada.

Aos novos amigos, estudantes e professores da faculdade. Em especial, aos meus grandes amigos que adquiri, por sua confiança e credibilidade em minha pessoa, e, pelo mútuo aprendizado de vida, durante nossas convivências, no campo profissional e particular. Pela força nos momentos difíceis.

Amigos, gratidão eterna!

Felipe

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida, pela inspiração e conforto em todos os momentos desta caminhada.

Ao professor Dr. Antonio Rodrigues Fernandes pela oportunidade, confiança por aceitar me orientar e que foi essencial para o meu crescimento.

Ao grande profissional Marcelo Morita Lindolfo que foi fundamental para o desenvolvimento da pesquisa, e que venham muito mais trabalhos.

Ao professor Dr. Gilson Sergio Bastos de Matos pelos ensinamentos acadêmicos e lições de grande importância nessa jornada.

Ao Dr. Jessivaldo Rodrigues Galvão e Dr. George Rodrigues da Silva pela oportunidade, confiança, amizade, dedicação e pelas orientações.

Aos meus pais, Heliana da Silva Oliveira e Francisco de Assis Ribeiro Junior por proporcionarem a realização deste sonho, agradeço o amor e o esforço de cada dia. À minhas avós Maria das Graças da Silva Ribeiro e in memória de Marta da Silva Oliveira. Aos meus tios queridos que com o pouco que lhes cabiam contribuíram nessa caminhada.

Aos amig@s e companheir@s da pós-graduação e todos que conhecemos nesse percurso. Com vocês cada obstáculo se tornou pequeno e fácil de ser vencido, cada gargalhada e cada dificuldade compartilhada ficarão para sempre na memória.

“Deixe o futuro dizer a verdade e avaliar cada um de acordo com seu trabalho e realizações. O presente é

deles, o futuro, para o qual eu realmente trabalho, é meu”.

Nikola Tesla

Sumário

1. CONTEXTUALIZAÇÃO	5
1.1. Objetivos	8
1.1.1. Geral	8
1.1.2. Específicos	8
REFERÊNCIA	9
2. <u>CAPÍTULO 1</u> : USO DO DRIS E GEOSTATÍSTICA PARA O DIAGNÓSTICO NUTRICIONAL E DA PRODUTIVIDADE DE AÇAIZEIRO FERTIRRIGADO.	12
2.1. INTRODUÇÃO	14
2.2. MATERIAL E MÉTODOS	15
2.2.1. Caracterização da área experimental e amostragem.	15
2.2.2. Amostragem da produtividade e coleta dos teores de nutrientes foliares	18
2.2.3. Análise descritiva dos dados	18
2.2.4. Sistema Integrado de diagnose e recomendação (DRIS)	18
2.2.5. Análise geostatística e krigagem	19
2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
2.3.1. Avaliação do estado nutricional pelo método DRIS	20
2.3.2. Distribuição espacial dos Índices DRIS e da produtividade.	25
CONCLUSÕES	31
REFERÊNCIAS	32
3. <u>CAPÍTULO 2</u> : AVALIAÇÃO DA VARIABILIDADE DO ESTADO NUTRICIONAL E PRODUTIVIDADE DE AÇAIZEIRO FERTIRRIGADO	37
3.1. INTRODUÇÃO	39
3.2. MATERIAL E MÉTODOS	40
3.2.1. Descrição da área amostral	40
3.2.2. Adubação e amostragem	41
3.2.3. Análise descritiva dos dados	42
3.2.4. Análises multivariada e geostatística	42
3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
3.3.1. Análise Descritiva dos teores de nutrientes	44
3.3.2. Variabilidade espacial dos teores de nutrientes foliares	45
3.3.3. Análise de componentes principais para os teores de nutriente foliares	49
3.3.4. Análise de agrupamento para a distinção das zonas de manejo.	50
CONCLUSÕES	52
REFERÊNCIA	53

1. CONTEXTUALIZAÇÃO

O extrativismo do açazeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) no estuário do rio Amazonas, seja para a coleta dos frutos para produção da polpa ou pelo corte da palmeira para a obtenção do palmito, é de extrema importância no contexto econômico, social e cultural (Nogueira & Homma, 1998). Os povos nativos da região amazônica têm o açaí integrado na sua dieta, usado nas principais refeições (Gordon et al., 2012).

O consumo do suco do açaí cresceu a nível nacional e internacional, o que demanda maior produção e produtividade do açazeiro. A grande demanda está relacionada ao valor nutritivo. É rico em ferro, lipídios, fibras, fósforo, minerais e antioxidantes, chegando a ser classificado como um dos alimentos mais ricos em vitaminas, sendo recomendado na dieta da população (Oliveira et al., 2015). Para atender o aumento da demanda pelo fruto, tornou crescente o cultivo de açazais em áreas de terra firme (cultivo racional), possibilitando o manejo mais eficiente, principalmente da adubação, além da maior facilidade para escoar a produção (Homma et al., 2009).

As condições edafoclimáticas é de extrema importância para o seu cultivo em grande escala, devido ao açazeiro ser uma espécie exigente em água, principalmente em locais que tenha um período prolongado de estiagem, como ocorre em algumas microrregiões da Amazônia (Souza et al., 2013). Assim sendo, o cultivo com uso de irrigação vem crescendo no estado do Pará, em áreas de terra firme. Esta forma de cultivo permite a oferta do produto na entressafra (Hespanhol, 2008).

Nas áreas de terra firme, o cultivo tem ocorrido em Latossolos e Argissolos. Estes solos apresentam baixa fertilidade natural e com isto torna-se indispensável o uso da adubação. A fertilização tem sido utilizada simultaneamente com a técnica de irrigação, para reduzir os custos operacionais, com isso é importante o acompanhamento do estado nutricional das plantas, visando um melhor equilíbrio entre os nutrientes, o que resultará em maior produtividade. A determinação da variabilidade espacial dos nutrientes nas folhas pode otimizar as aplicações de corretivos e fertilizantes, melhorando o controle do sistema de produção, reduzindo os custos com os insumos e a degradação ambiental provocada pelo excesso de nutriente (Rocha & Lamparelli, 1998).

A avaliação do estado nutricional de pomares de frutíferas pode ser realizada por meio da diagnose foliar, em razão da correspondência existente entre a concentração de nutrientes nas folhas e a produtividade das plantas (Rocha & Lamparelli, 1998). Na determinação do estado

nutricional das plantas é necessária a avaliação quantitativa dos nutrientes, considerando a planta como extrator no solo (Corrêa et al., 2001). Há também métodos que permitem a identificação de possíveis deficiências nutricionais nas plantas, como a utilização do método do sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS).

O método DRIS é uma ferramenta importante na avaliação do estado nutricional e tem sido adotado de forma eficaz para o diagnóstico nutricional (Nachtigall & Dechen, 2007) de várias culturas como: cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum*) (Dias et al. 2010), mangueira (*Mangifera indica*) (Politi et al., 2013), laranja-pêra (*Citrus sinensis*) (Dias et al., 2013; Hernandez et al., 2014), Coqueiro (*Cocos nucifera*) (Saldanha et al. 2015) e palma de óleo (*Elaeis guineenses*) (Matos et al., 2017). O DRIS avalia o quanto cada nutriente afeta o desempenho nutricional da planta. Para essa avaliação se faz necessário a determinação de índices inerentes ao próprio método (Parent et al., 2011). Os índices DRIS é a média aritmética das funções reduzidas dos quocientes da concentração desse nutriente em relação as concentrações dos demais nutrientes determinados nas folhas (Beaufils, 1973).

A caracterização da variabilidade espacial da produtividade e dos teores de nutrientes são essenciais para o gerenciamento de uma cultura. Com esse tipo de informação é possível o mapeamento de tais variáveis e elaboração de mapas levando-se em conta a variabilidade natural dos fatores de produção (Silva et al., 2008). Uma opção de análise da variabilidade espacial dos dados é associar o uso de técnicas de análise multivariada, como a análise de componentes principais, que visa à redução dimensional do número de variáveis, à geostatística. A redução e a simplificação do número de variáveis, criando novas variáveis interpretativas, permitirão uma maior facilidade de interpretação dos mapas (Silva et al., 2010).

A análise de componentes principais procura explicar a estrutura de variâncias e/ou covariâncias através de poucas combinações lineares das variáveis originais, com os objetivos de reduzir os dados, colocá-los numa forma mais adequada para análise, evidenciar as tendências e facilitar sua interpretação (Hair Jr et al., 2009). A utilização da análise de componentes principais tem por finalidade proporcionar simplificação estrutural dos dados (Claro et al., 1998), ou ainda, a análise por componentes principais, segundo Cruz (1997), consiste em transformar um conjunto original de variáveis em outro conjunto, de dimensões equivalentes, mas com propriedades importantes de grande interesse em certos estudos.

A grande importância do conhecimento da técnica dos componentes principais, reside no fato dela constituir um procedimento básico do qual derivam vários outros métodos de análise de dados multivariados, como por exemplo, análise de agrupamento (Silva, 2003). Na análise simultânea de muitas informações, a estatística multivariada torna-se a melhor ferramenta, possibilitando obter informações e interpretações que poderiam não ser perceptíveis com o uso da análise estatística univariada (Freitas et al., 2014).

As variáveis relacionadas são mapeadas a partir de amostras coletadas em grades (grids) de amostragem. O tamanho da malha amostral é influenciado pela magnitude da variabilidade dos dados analisados, sendo que o espaçamento para as respectivas amostragens podem variar em função da resolução desejada, associada aos custos. (Nanni et al., 2011). O modelo tem como principal objetivo a previsão de cenários a partir de fatores ambientais. Tem como base uma correlação de dados numéricos, estatísticos e ambientais, a fim de produzir cenários possíveis de evolução de um dado fenômeno analisado (Bittar & Yiomassa, 2000).

A agricultura de precisão (AP) é um sistema de gerenciamento que busca otimizar a produção agrícola tendo como elemento-chave o manejo da variabilidade da produção e dos fatores envolvidos (Tschiedel & Ferreira, 2002). Apesar das inúmeras vantagens, a AP ainda é pouco viável do ponto de vista financeiro, por necessitar de recursos avançados de maquinaria e tecnologias a está incorporada.

Uma adaptação do conceito de AP é a utilização de unidades de manejo (UM), dividir as áreas de produção em unidades menores com características similares, diferenciando-se umas das outras. Isso permite que pequenos produtores utilizem a tecnologia de AP, alterando as dosagens e formulações de insumos em cada unidade de manejo identificada (Bazzi et al., 2013).

Estudos geoestatísticos a esse respeito mostraram que os mapas resultantes apresentavam distorções mais devidas ao local de coleta da amostra (centro ou interseção da malha) e ao tamanho da malha de amostragem (Schepers; Shanahan & Luchiari Jr, 2000), do que ao método de interpolação empregado, seja ela a krigagem, o inverso do quadrado da distância ou outro.

O manejo regionalizado do solo e da cultura é parte integrante de um sistema de agricultura de precisão (AP), o qual envolve conceitos de uso de informações sobre a variabilidade de propriedades locais e climáticas de uma área, buscando o aumento da

produtividade, otimização no uso dos recursos e redução do impacto da agricultura ao meio ambiente (Corá et al., 2004).

Para a determinação dessas unidades normalmente são utilizados dados de produtividade, dados físicos e químicos do solo, atrelado a necessidade de uma grade amostral densa, além do uso de modelagem estatística de tais atributos. Isso nos permite definir diferentes zonas de manejo com base na produção, podendo levar a um entendimento melhor da variabilidade nutricional (Fleming & Westfall, 2000; Rodrigues Jr et al., 2011).

Mesmo com a importância da cultura do açazeiro para o contexto agrícola paraense, dispõe-se de poucos resultados de pesquisa que dêem sustentação ao cultivo racional e recomendação das necessidades de corretivos e fertilizantes. As referidas zonas de manejo podem ser utilizadas como orientação para futuras amostragens, facilitando a otimização desta operação.

Hipóteses da Pesquisa:

1. O DRIS representa precisamente a nutrição das plantas de açazeiro fertirrigado, tanto pelo status nutricional, como pela sua variabilidade espacial, possibilitando ajustes na adubação.
2. Com a definição de zona de manejo é possível identificar a interação das variáveis e também qual variável tem maior relação para a diferenciação dos grupos.

1.1 Objetivos

1.1.1. Geral:

Avaliar a variabilidade espacial da produtividade e do estado nutricional do açazeiro cultivado em terra firme fertirrigado.

1.1.2. Específicos:

- Avaliar o estado nutricional do açazeiro usando o método do DRIS e a variabilidade espacial de seus índices.
- Avaliar relações entre os teores de nutriente foliar e da produtividade resumi-los em grupos menores, com o mais alto grau de similaridade em função da variabilidade espacial.

REFERÊNCIAS

- BAZZI, C. L.; SOUZA, E. G.; OPAZZO, M. O.; NOBREGA, L. H.; ROCHA, D. M. (2013) Management zones definition using soil chemical and physical attributes in a soybean area. *Engenharia Agrícola*, v. 33, p. 1-14.
- BEAUFILS, E. R. (1973) Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS): a general scheme for experimentation and calibration based on principles developed from research in plant nutrition. *South Africa Soil Science Bulletin*, Pietermararitzburg, v. 1, n. 1, p. 1-132.
- BITAR, O.Y; YOMASSA, W.S; CABRAL J.M. (2000) Geotecnologia tendência e desafios. *São Paulo e Perspectiva*, v. 14, n.3, p.79-87.
- CLARO, D. P.; ARIEIRA, J. O.; VEIGA, R. D.; MUNIZ, J. A. (1998) Uma utilização da análise multivariada, na identificação de fatores que afetaram a cultura de feijão em minas gerais período 1983/93. *Cad. Adm. Rural, Lavras*, v. 10, n. 1. Jan./Jun.
- CORÁ, J. E.; ARAUJO, A. V.; PEREIRA, G. T.; BERALDO, J. M. G. (2004) Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, p.1013-1021.
- CORRÊA J. B., REIS JÚNIOR R. DOS A., CARVALHO J. G., GUIMÃRAES P. T. G. (2001) Avaliação da fertilidade do solo e do estado nutricional de cafeeiros do Sul de Minas Gerais. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 25, p. 1279-1286.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. (1997) Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. Viçosa, MG: Imprensa Universitária, 390 p.
- DIAS, J. R. M., TUCCI, C. A. F., WADT, P. G. S., SILVA, A. M., SANTOS, J. Z. L. (2013) Níveis críticos e faixas de suficiência nutricional em laranja-pêra na Amazônia Central obtidas pelo método DRIS. *Acta Amazonica*, v. 43, n.3, p. 239-246.
- DIAS, J. R. M.; PEREZ, D. V.; SILVA, L. M.; LEMOS, C. O.; P. G. S. WADT (2010) Normas DRIS para cupuaçuzeiro cultivado em monocultivo e em sistemas agroflorestais. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.45, n.1, p.64-71.
- FLEMING, K. L. & WESTFALL, D. G. (2000) Evaluating farmer defined management zone maps for variable rate fertilizer application. *Precision Agriculture*, v.2, p. 201-215.
- FREITAS, L.; CASAGRANDE, J. C.; OLIVEIRA, I. A.; CAMPOS, M. C. C. (2014) Análise multivariada na avaliação de atributos de solos com diferentes texturas cultivados com cana-de-açúcar. *R Ci Agron.*; v.57, p. 224-33.

GORDON, A.; CRUZ, A. P. G.; CABRAL, L. M. C.; FREITAS, S. C. DE; DIB TAXI, C. M. A.; DONANGELO, C. M.; MATTIETTO, R. A.; FRIEDRICH, M.; DA MATTA, V. M.; MARX, F. (2012) Chemical characterization and evaluation of antioxidant properties of Açaí fruits (*Euterpe oleraceae* Mart.) during ripening. Food Chemistry, v. 133, p. 256–263.

HAIR Jr., J.F.; BLACK, W.C.; BABIN, B.J.; ANDERSON, R.E. & TATHAM, R.L. (2009) Análise multivariada de dados. 6.ed. Porto Alegre, Bookman, 688p

HERNANDES, A; SOUZA, H. A.; AMORIM, D. A.; NATALE, W.; LAVRES JUNIOR.; BOARETTO, A. E.; CAMACHO, M. A. (2014) DRIS Norms for Pêra Orange. Communications in Soil Science and Plant Analysis, v. 45, p. 2853–2867.

HESPANHOL, I. (2008). Um novo paradigma para a gestão de recursos hídricos. Estud. av., São Paulo, v.22, n.63.

HOMMA A. K. O.; CARVALHO J. E. U.; FARIAS NETO J. T., MENEZES A.J.E.A. & MATOS G. B. (2009) Custo operacional de açazeiro irrigado com microaspersão no município de Tomé-Açu. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 5p. (Comunicado Técnico, 88).

MATOS, G.S.B.; FERNANDES, A. R.; WADT, P.G.S.; PINA, A.J.A.; FRANZINI, V.I.; RAMOS, H. M.N. (2017) The Use of DRIS for Nutritional Diagnosis in Oil Palm in the State of Pará. Rev Bras Cienc Solo.; 41:e0150466. DOI: 10.1590/18069657rbcs20150466.

NACHTIGALL, G. R. & DECHEN, A. R. (2007) DRIS use on apple orchard nutritional evaluation in response to potassium fertilization. Communications in Soil Science and Plant Analysis, v.38, p.2557-2566.

NANNI, M.R.; POVH, F. P.; DEMATTE, J. A. M.; OLIVEIRA, R. B.; CHICATI, M. L.; CEZAR, E. (2007) Optimum size in grid soil sampling for variable rate application in site-specific management. ScientiaAgrícola, v.68, n.3, p.386-392.

NOGUEIRA, O. L. & HOMMA, A. K. O. (1998) Análise econômica de sistemas de manejo de açazais nativos no estuário amazônico. Belém: Embrapa- CPATU, 1998, 38p. (Embrapa-CPATU. Documentos, 128).

OLIVEIRA A.G.; COSTA, M.C.D.; ROCHA, S.M.B.M. (2015) Functional benefits of açai berry in the prevention of cardiovascular diseases. Journal of Amazon Health Science Vol.1, n.1, 10 p.

PARENT, L.E. (2011) Diagnosis of the nutrient compositional space of fruit crops. Revista Brasileira de Fruticultura, v.33, p.321- 334.

POLITI, L. S.; FLORES, R. A.; SILVA, J. A. S.; WADT, P. G. S.; PINTO, P. A. C.; PRADO, R. M. (2013) Estado nutricional de mangueiras determinado pelos métodos DRIS e CND. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental, v. 17, n. 1, p.11-18.

ROCHA, J. V.; LAMPARELLI, R. A. C. (1998) Geoprocessamento. In: Silva, F.M. Mecanização e agricultura de precisão. Poços de Caldas: UFV, cap.1, p.1-30.

RODRIGUES JUNIOR, F. A.; VIEIRA, L. B.; QUEIROZ, D. M.; SANTOS, N. T. (2011) Geração de zonas de manejo para cafeicultura empregando-se sensor SPAD e análise foliar. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, v.15, n.8, p.778-787.

SALDANHA, E. C. M.; SILVA JUNIOR, M. L.; OKUMRA, R. S.; WADT, P. G. S. (2015) Estabelecimento de normas DRIS para a cultura do coqueiro híbrido no estado do Pará. Revista Caatinga, v. 28, p. 99 – 109.

SCHEPERS, J. S.; SHANAHAN, J. F.; LUCHIARI JUNIOR, A. (2000) Precision agriculture as a tool for sustainability. In: GALANTE, E.; SCHEPERS, J. S.; WERNER, D.; WERRY, P. A. T. J. (Ed.). Biological resource management: connecting science and policy. Paris: INRA Springer, p. 129-138.

SILVA, F. M.; SOUZA, Z. M.; FIGUEIREDO, C. A. P.; VIEIRA, L. H. S.; OLIVEIRA, E. (2008) Variabilidade espacial de atributos químicos e produtividade da cultura do café em duas safras agrícolas. Ciência Agrotecnologia. Lavras, v. 32, p. 231-241.

SILVA, J. S. V. (2003) Análise multivariada em zoneamento para planejamento ambiental; estudo de caso: bacia hidrográfica do alto rio Taquari MS/MT. Campinas, SP: [s.n.], 2003. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

SILVA, S. A.; LIMA, J. S. S.; XAVIER, A. C. TEIXEIRA, M. M. (2010) Variabilidade espacial de atributos químicos de um latossolo vermelho-amarelo húmico cultivado com café. Revista Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, v. 34, p. 15-22.

SOUZA, R. O. R. M.; AMARAL, M. A. C. M.; SILVESTRE, W. V. D.; SACRAMENTA, T. M. (2013) Avaliação econômica da irrigação em pomares de açaí. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada v.7, n. 1, p. 54 - 65.

TSCHIEDEL, M. & FERREIRA, MA. F. (2002) Introdução à agricultura de precisão: conceitos e vantagens. Ciência Rural, v. 32, n. 1

2. CAPITULO 1: USO DO DRIS E GEOSTATÍSTICA PARA O DIAGNÓSTICO NUTRICIONAL E DA PRODUTIVIDADE DE AÇAIZEIRO FERTIRRIGADO

RESUMO

O aumento do consumo de polpa de açaí tem levado a expansão de seu cultivo, principalmente em áreas de terra firme, em sistema fertirrigado, entretanto são escassas informações sobre nutrição dessa espécie, que possam dar suporte ao aumento da produtividade. O objetivo foi avaliar o estado nutricional de açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) fertirrigado pelos índices do sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS), bem como a variabilidade espacial desses índices e da produtividade. Foi feita uma amostragem de 80 pontos georreferenciados em cultivo comercial na Amazônia Oriental (município de Tomé-açu), coletadas na safra 2015/2016, contendo a produtividade e resultados dos teores de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn. O diagnóstico DRIS indicou que a frequência de nutrientes em estado adequado foi N>S>Zn>B>Fe>K>Ca>Mg>P>Mn>Cu, em deficiência foi Mn>Ca>B>Cu>Mg>Fe>K>P>S>Zn>N, e de excesso foi P>Cu>Mg>K>N=Zn>Fe>Ca>S=B>Mn. Os nutrientes N e S apresentaram-se bem balanceadas, enquanto o Mn, Ca e B, foram os nutrientes com maior deficiência no açaizeiro. O excesso de P está relacionado a uma sobre dose na adubação e maior disponibilidade em sistemas irrigados. Os alcances dos índices DRIS apresentaram grande variação, sendo que os maiores valores foram para os ajustes de Mn, Ca e B e os menores para P. Os pontos de amostragem foram suficientemente próximos para detectar a variabilidade espacial dos índices DRIS, sendo que foi possível observar padrões para as deficiências nutricionais, ocorrendo ao final da malha de irrigação, bem como a variabilidade da produtividade do açaizeiro. A variabilidade espacial dos índices DRIS indicaram locais para ajustes das doses de adubos.

Palavras-Chave: *Euterpe oleracea* MART., nutrição de planta, DRIS, reposição de adubação, distribuição espacial.

DRIS AND GEOSTATISTIC USE IN NUTRITIONAL DIAGNOSIS AND PRODUCTION OF FERTIGATED ASSAI PALM

ABSTRACT

The increase in the consumption of assai pulp has led to the expansion of its cultivation, mainly in areas of dry land, in a fertirrigated system, however little information on nutrition of this species, that can support the increase of productivity. The objective was to evaluate the nutritional status of assai palm (*Euterpe oleracea* Mart.) fertirrigated by the indices of the integrated system of diagnosis and recommendation (DRIS), as well as the spatial variability of these indices and productivity. Sampling of 80 georeferenced points in commercial cultivation in the eastern Amazonia (Tomé-Açu municipality), collected in the 2015/2016 crop, was carried out, containing the productivity and results of N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn and Zn. The DRIS diagnosis indicated that the frequency of adequate nutrients was N> S> Zn> B> Fe> K> Ca> Mg> P> Mn> Cu, deficiency was Mn> Ca> B> Cu> Mg> Fe> K> P> S> Zn> N, and excess was P> Cu> Mg> K> N = Zn> Fe> Ca> S = B> Mn. N and S nutrients were well balanced, while Mn, Ca and B were the most deficient nutrients in the assai palm. The excess of P is related to an over dose in fertilization and greater availability in irrigated systems. The ranges of the DRIS indices presented great variation, being that the highest values were for the adjustments of Mn, Ca and B and the smaller ones for P. The sampling points were close enough to detect the spatial variability of the DRIS indices, and it was possible to observe patterns for nutritional deficiencies, occurring at the end of the irrigation mesh, as well as the variability of the assai palm productivity. The spatial variability of the DRIS indices indicated sites for adjusting the doses of fertilizers.

Key-words: *Euterpe oleracea* MART., Plant nutrition, DRIS, fertilization, spatial distribution

2.1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor, consumidor e exportador de polpa e palmito do açazeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) do mundo representado principalmente pelo estado do Pará (IBGE, 2015). O consumo da polpa de açáí tem aumentado significativamente em função de vários fatores: rico em nutrientes para alimentação humana, propriedades medicinais (substâncias bioativas como fenóis, flavonoides e antocianinas) e seu uso como bebida e alimento energético (Yamaguchi et al., 2015).

Nativa do Estuário Amazônico, o açazeiro habita áreas permanente ou temporariamente inundáveis por isso o seu cultivo em terra-firme tem levado em consideração sistemas irrigados (Galate et al., 2014; Silvestre et al., 2016). Esse manejo pode levar a cultura ao incremento de produtividade de 4 para 15 toneladas de frutos por hectare no ano (Santos et al., 2012). Tal ganho se deve a maior produção de frutos na entressafra (Homma et al., 2009; Souza et al., 2013), bem como a possibilidade de aplicação dos fertilizantes de forma mais racionalizada, ou por fertirrigação. Tais benefícios podem amenizar o problema da heterogeneidade espacial de produção dentro dos plantios de açazeiro que tem relação com a falta de material genético com bons caracteres agrônômicos (Yokomizo et al., 2010).

No nordeste paraense tem crescido muito a área de açazeiro fertirrigado, entretanto, tanto em sistema convencional como no fertirrigado são escassas as informações relacionadas a fertilidade do solo, adubação e nutrição das plantas de açazeiro. Nesse sentido, em cultivos comerciais o estudo da demanda de nutrientes e avaliação do manejo da adubação, combinados a agricultura de precisão, é necessário ao uso racional de fertilizantes para aumento da produtividade do açazeiro.

Na ausência de faixas de suficiência de nutrientes na literatura para o açazeiro, o sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS) surge como alternativa na avaliação nutricional da palmeira, pois leva em consideração referências nutricionais das plantas mais produtivas dentro da própria área de cultivo comercial (Dezord et al., 2016). Além disso, o método DRIS, tem menor dependência de fatores ambientais não controlados por considerar as relações e o balanço dos nutrientes (Cunha et al., 2016).

O DRIS tem sido utilizado como ferramenta de avaliação nutricional em muitos cultivos brasileiros como na cultura da soja (Kurihara et al., 2013), cana-de-açúcar (Santos et al., 2013), algodoeiro (Serra et al., 2010), bem como em palmeiras

representativas no norte do País como o coqueiro (Saldanha et al., 2015) e palma de óleo (Matos et al., 2017), entretanto, não constam trabalhos semelhantes para o açaizeiro.

A agricultura de precisão, que perfaz a variabilidade espacial e temporal baseada nas distâncias entre pontos de uma área de cultivo, complementa a estatística clássica mediante a geostatística e tem sido uma ferramenta eficiente no diagnóstico de atributos relacionados ao solo e a produtividade das plantas (Siqueira et al., 2010). Em posse dos dados geoestatísticos é possível representar as variáveis de cultivo com maior acurácia, reduzindo custos e otimizando insumos, como os fertilizantes (Lima et al., 2016).

A avaliação de teores de nutrientes foliares combinados à geostatística foi estudada na cultura de citros (Oliveira et al., 2009), mamoeiro (Lima et al., 2016) e, mais intensamente, no cafeeiro (Silva et al., 2013), inclusive considerando o DRIS (Silva et al. 2011; Fonseca et al., 2015). Nestes trabalhos as variáveis nutricionais apresentaram dependência espacial e refletiram o manejo adotado nas áreas, o que pode ser muito importante para cultivos com poucas informações técnicas como o do açaizeiro.

Nesse contexto, a hipótese é que o DRIS representa precisamente a nutrição das plantas de açaizeiro fertirrigado, tanto pelo status nutricional como pela sua variabilidade espacial, possibilitando ajustes na adubação. O objetivo foi realizar o diagnóstico nutricional pelos índices DRIS, bem como a variabilidade espacial desses índices e da produtividade de uma área comercial cultivada com açaizeiro.

2.2. MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1. Caracterização da área experimental e amostragem.

A área amostral foi um talhão da fazenda Opatta no município de Tomé-Açu, no nordeste paraense ($02^{\circ}28'43,6''$ de latitude S e $48^{\circ}18'16,8''$ de longitude W) (Figura 1) considerada como modelo de uma cooperativa agrícola local. Na área de estudo as plantas apresentavam sete anos após o plantio, cujas mudas foram provenientes de sementes de açaizeiros nativos (semente crioula). A área amostral possui 5,75 ha com uma densidade de 400 touceiras por hectare. O clima predominante na região é o tipo Ami, segundo a classificação de Koppen, com temperatura média de $26,4^{\circ}\text{C}$, com umidade relativa do ar variando entre 71 e 91%, com pluviosidade média em torno de 2618 mm.

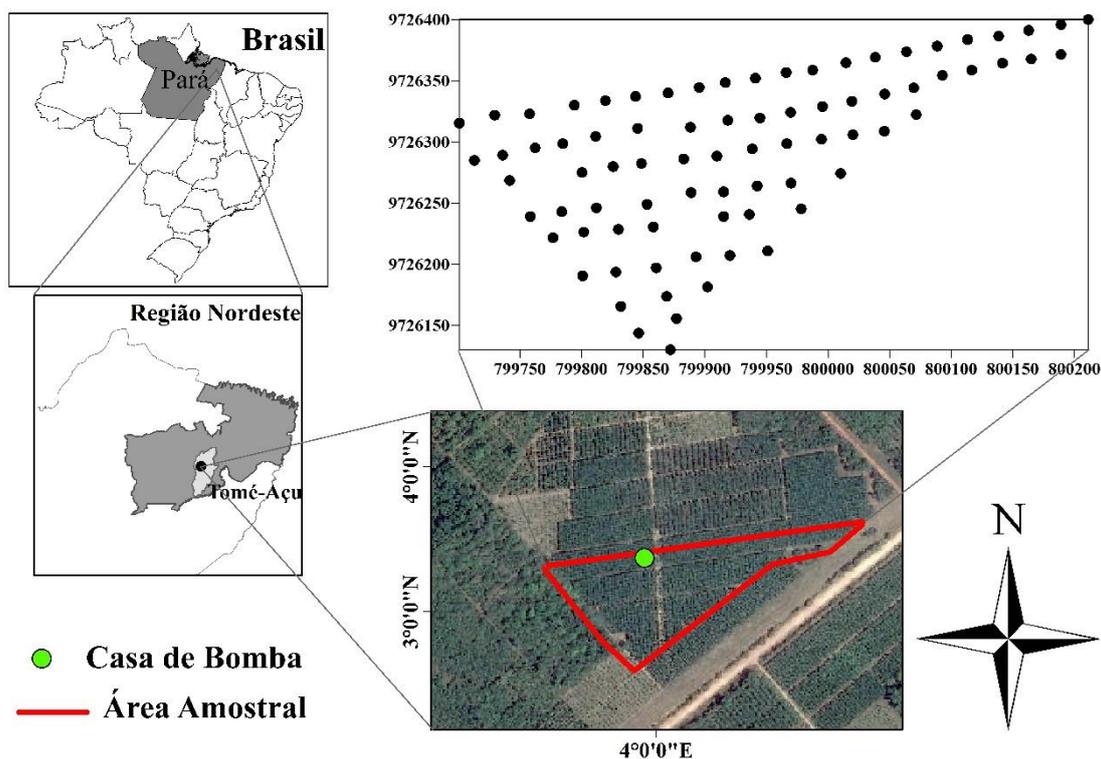


Figura 1. Mapa da área de coletas (detalhe para a malha amostral) no nordeste do Pará.

Antes da implantação do açazeiro a área foi cultivada por um longo tempo com pimenta-do-reino e cacau, nas quais algumas práticas podem ser ressaltadas, como a aplicação periódica de fungicidas cúpricos oxiclureto de cobre $[\text{CuCl}_2 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2]$ e farinha de osso como adubação fosfatada, produtos que podem influenciar nos teores residuais de cobre e fósforo da área, respectivamente. Na época do plantio a adubação comum da cooperativa nas mudas, foi usado 200 g de fosfato de Arad (10% de P_2O_5) por cova, e nos primeiros cinco anos de cultivo foi aplicado via adubação manual aproximadamente 400 g de NPK por touceira/ano com formulação nas doses de 40, 112, 80 g/touceira/ano de N, P_2O_5 e K_2O , respectivamente.

Para suprir a demanda hídrica do açazeiro no período de estiagem foi instalada irrigação no quinto ano após plantio constando de um sistema de distribuição com microaspersores de capacidade para 70 L h^{-1} . O ponto de captação de água é um poço artesiano sendo que o sistema de irrigação, na ausência de parâmetros para a cultura, foi dimensionado considerando parâmetros empíricos, onde se levou em consideração a evapotranspiração a 5 mm e o coeficiente de cultura (K_c) igual a 1. A partir de então a adubação passou a ser fertirrigado, onde os nutrientes foram aplicados ao sistema por

bombas de injeção, sendo aplicados cerca de 2,0 kg/touceira acumulado nos dois anos antes da coleta dos dados (Tabela 1).

Tabela 1. Fontes e doses de nutrientes usados na fertirrigação.

Fontes	Dose	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	Ca	Mg	B
Sulfato de potássio (50% K ₂ O + 17% S)	0,065			0,033	0,011			
Glutamato Monossódico + Amônia + Ácido Sulfúrico (17% N, 3% K ₂ O + 8% S)	0,06	0,010		0,002	0,005			
Monofosfatopotássico (52% P ₂ O ₅ + 34% K ₂ O)	0,20		0,104	0,068				
Nitrato de magnésio (11% N + 9,3% Mg)	0,35	0,039					0,033	
Nitrato de Potássio (12% N + 43% K ₂ O)	0,25	0,030		0,108				
Nitrato de cálcio (17% N + 19% Ca)	0,15	0,026				0,029		
Ácido bórico 17%	0,075							0,013
Total (kg touceira ⁻¹)	1,15	0,104	0,104	0,209	0,015	0,028	0,032	0,012
Total (kg ha ⁻¹)	460	42	41,6	83,6	6	11,2	12,8	4,8

No sétimo ano após o plantio foi feita uma malha amostral que constou de 80 pontos georreferenciados (Figura 1) onde cada ponto foi tomado no centro de um grupo de cinco touceiras, uma central e quatro adjacentes. A distância entre pontos georreferenciados formou uma malha irregular com quadrantes de cerca de 28 m de aresta. O grupo das cinco plantas de cada ponto foi considerado para coleta solo, folhas e produtividade. Os pontos foram marcados com um GPS (Garmin Etrex Vista).

O solo coletado foi classificado segundo Embrapa (2013), como Latossolo Amarelo Distrófico, textura média com os atributos químicos da camada de 0-20 cm determinados conforme Embrapa (2011) (Tabela 2).

Tabela 2. Atributos químicos e granulometria da área cultivada com açaizeiro fertirrigado no nordeste do Pará, média proveniente de 80 pontos amostrais.

Atributos	Média	Mediana	Min.	Max.	Desvio padrão	CV
Areia (mg dm ⁻³)	652,62	670	510	740	51,47	7,88
Silte (mg dm ⁻³)	117,16	130	60	170	26,56	22,67
Argila (mg dm ⁻³)	221,25	215	90	370	49,53	22,39
pH (CaCl ₂)	5,6	5,5	4,7	7	0,4	7,14
MO (g kg ⁻¹)	20,06	20	10	75	8,66	43,17
P (Melich I)	239,12	240	150	280	30,57	12,78
K (mg dm ⁻³)	114,65	114	56	170	27,03	23,57
Ca (cmol _c dm ⁻³)	3,64	3,55	1,7	7,5	0,89	24,61
Mg (cmol _c dm ⁻³)	0,87	0,8	0,3	1,5	0,29	33,77
S (mg dm ⁻³)	6,38	6	5	8	0,62	9,8
B (mg dm ⁻³)	0,23	0,2	0,2	0,3	0,05	20,27
Cu (mg dm ⁻³)	2,43	2	0,7	9,6	1,6	64,22
Fe (mg dm ⁻³)	111,28	92	23	306	61,79	55,51
Mn (mg dm ⁻³)	29,15	28	10	78	11,53	39,56
Zn (mg dm ⁻³)	7,8	8,5	3,5	13	2,192	28,08

2.2.2. Amostragem da produtividade e coleta dos teores de nutrientes foliares.

Com o objetivo de obter a produtividade na safra 2015/2016 foram coletados o peso de fruto nos meses de novembro a janeiro, contabilizando três coletas de dados. É importante ressaltar que neste período avaliado (safra) estima-se que ocorra 70-80% da produção de frutos (Dimenstein & Farias Neto, 2008). A produtividade foi estimada pela diferença do valor acumulado do peso do cacho cheio e o cacho sem o fruto, e multiplicando-se pelo número de touceiras por hectare. Esse procedimento foi com o intuito de avaliar o estado nutricional, sendo uma análise pontual no meio do período considerado como safra.

As amostras foliares constituíram de uma única amostra composta pelas quatro touceiras componentes de cada ponto georreferenciado. A folha amostrada foi a média (com contagem de cima para baixa), desta se coletou seis folíolos do terço médio. O período da coleta foi escolhido devido a maior utilização do sistema de irrigação e bem como a de maior exportação de nutrientes para a colheita.

Os folíolos foram submetidos à lavagem com água corrente, em seguida lavada com água destilada. Posteriormente, submetidas a secagem em estufa com temperatura média de 65 °C. Após moagem as amostras foram submetidas a análise de macro (N, P, Ca, Mg e S) e micronutrientes (B, Fe, Cu, Mn e Zn) conforme Malavolta (1997).

2.2.3. Análise descritiva dos dados

Os valores encontrados foram submetidos à uma análise exploratória para verificar a presença de valores discrepantes (*outliers*) e sua influência sobre as medidas de posição e dispersão. Os dados foram analisados por meio das medidas de posição (média e mediana), dispersão (valores máximos, mínimos, desvio padrão, variância e coeficiente de variação) e forma da dispersão (coeficientes de assimetria e curtose). Para verificar a aderência ou não dos dados à distribuição normal, aplicou-se o teste de Kolmogorov-Smirnov (KS) com nível de 5% de probabilidade.

2.2.4. Sistema Integrado de diagnose e recomendação (DRIS)

O sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS) foi utilizado para a avaliação dos teores foliares tomando como população de referência os 20 pontos amostrais mais produtivos, ou seja, acima de 7,0 t ha⁻¹ acumulados pontualmente nas

coletas de produtividade. Na determinação das relações nutricionais componentes da normas DRIS, foi usado o teste F de Letzsch (1985), e posteriormente as relações nutricionais selecionadas foram testadas quanto a sua normalidade pelo teste de Lilliefors ($p < 0,05$). Após a seleção das normas foi realizado o diagnóstico das amostras se utilizando as funções propostas por Beaufils (1973) e calculado-se os índices DRIS.

A partir dos cálculos dos índices DRIS, foi obtido o índice de balanço nutricional (IBN) para os pontos, calculado soma em módulo dos índices de cada nutriente. O IBN permite verificar se as limitações na produtividade são de ordem nutricional ou não (Fonseca et al., 2015). Quanto mais próximo de zero os valores de IBN, mais nutricionalmente equilibrado é o cultivo. O IBN foi dividido pelo número de nutrientes analisados para a obtenção de sua média (IBNm).

Para classificar o estado nutricional das plantas os índices DRIS foram interpretados de acordo com potencial de resposta a adubação (Wadt et al., 1998) se estabelecendo três classes nutricionais: deficiente, adequado e excessivo. O nutriente foi considerado deficiente quando apresentou índice DRIS negativo e, em módulo, mostrou valor menor que o IBNm; foi considerado adequado quando apresentou índice DRIS negativo ou positivo, porém em módulo menor que o IBNm; e excessivo quando o índice DRIS foi positivo, e, em módulo, o valor foi maior que o IBNm. Uma correlação de Pearson ($P < 0,01$) avaliar a correlação entre os índices DRIS com a produtividade.

2.2.5. Análise geostatística e krigagem

Os índices DRIS foram submetidos, a avaliação descritiva para a normalidade, a análise geostatística para quantificar o grau de dependência espacial a partir de semivariogramas teóricos com base na intrínseca e estacionário suposição:

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

Em que: $\gamma(h)$ é a semivariância estimado; $N(h)$ é o número de pares de atributos estudados; e $Z(x_i)$, $Z(x_i+h)$ = valores dos atributos medidos nas posições x_i e x_i+h , separados por um vetor h (distância entre amostras). Os modelos experimentais testados foram os seguintes: esféricos, gaussiano, exponencial, linear. A escolha para o modelo adequados foi o de minimizar a soma dos quadrados dos resíduos (SQR), no aumento do coeficiente múltiplo de determinação (R^2) dos ajustes dos modelos teóricos aos semivariogramas experimentais.

O índice de dependência espacial (IDE) foi considerado pela relação $C/(C0+C)$, o qual foi classificado de acordo com a proposta de Zimback (2001): a dependência espacial fraca ($IDE < 25\%$); moderada ($25\% \leq IDE \leq 75\%$) e dependência forte ($IDE > 75\%$). De acordo com Vieira (1997), quanto maior for a proporção da variância estrutural (C) para o patamar ($C0+C$), maior será a semelhança entre os dois valores vizinhos e a continuidade do fenômeno e menor a variância da estimativa e, portanto, maior a confiança que se pode ter nas estimativas em locais não amostrados pelo método da interpolação por krigagem ordinária. Vieira et al. (2009) afirmam que ele representa a variância inexplicada ou aleatória, muitas vezes causada por erros na edição ou variações nos atributos que não podem ser detectados na escala de amostragem.

Com a dependência espacial confirmada, os valores dos índices DRIS e produtividade foram estimados por krigagem ordinária, plotados em mapas. A condição de não tendência significa que é, em média, a diferença entre valores estimados e medidos para o mesmo ponto deve ser nula. A condição de variância mínima significa que, embora possam existir diferenças, ponto por ponto, entre o valor estimado e o medido, essas diferenças devem ser mínimas.

Na confecção dos mapas não se considerou a interpretação pelo potencial de resposta a adubação pois esse critério não permite a geração de escalas regulares na plotagem das cores. Para tanto, foram considerados os próprios valores dos índices ordenados no intervalo de positiva a negativos. Assim, identificar as regiões em que os valores dos índices de cada nutriente, considerando que os vizinhos agrupados devem ter importância individual relativamente menor para indicar heterogeneidade, do que aqueles isolados (extremos da escala).

2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1. Avaliação do estado nutricional pelo método DRIS

Observa-se que, com exceção P, Mg, S e Zn, os valores das medidas de tendência central (média e mediana) dos teores de nutrientes e produtividade estão próximos (Tabela 3). As variáveis as quais os valores do coeficiente de simetria apresentam-se distantes de zero, indicam um afastamento da distribuição normal. Nesse caso, os valores de assimetria foram positivos para os teores de Mg e Zn, apresentando uma maior concentração dos dados a direita. O P e S mostram-se com uma maior concentração dos

dados a esquerda devido o valor negativo do coeficiente simetria negativo. Os valores de nutrientes N, P, K, Mg, S e da produtividade apresentaram dispersão simétricas, conforme teste Kolmogorov-Smirnov (KS) a 5% de probabilidade. Em relação aos demais nutrientes onde na sua totalidade são micronutrientes, que para realização de análises, espera-se apenas que as caudas da distribuição normal não sejam muito longas.

Tabela 3. Estatística descritiva dos teores de nutrientes em plantas de açaizeiro.

Nutrientes	Média	Md	s	Mín.	Máx.	CV%	C _s	C _k	K-S
----- g / Kg -----									
N	19,5	20	2,25	16	23	11,53	-0,12	-0,47	*
P	1,75	1,8	0,39	0,88	2,3	22,31	-1,28	0,97	*
K	8,5	8,2	1,35	5,6	12	15,9	0,44	0,18	*
Ca	5,6	5,3	1,62	3	9,8	28,1	0,89	0,17	ns
Mg	1,11	1	0,38	0,5	2,2	34,01	1,16	1,13	*
S	3,09	3,2	0,53	1,6	3,7	17,1	-1,03	0,42	*
----- mg / g -----									
B	50,95	52	10,37	29	72	20,35	-0,21	-0,72	ns
Cu	5,51	5	2,61	1	12	47,33	0,48	-0,49	ns
Fe	366,37	358	89,45	217	647	24,42	0,77	0,55	ns
Mn	250,89	249	116,35	42	557	46,38	0,63	0,12	ns
Zn	24,54	24	4,77	15	42	19,42	1,09	1,99	ns
----- t ha ⁻¹ -----									
Produtividade	5,20	5,50	2,12	0,480	9,60	40,89	-0,24	-0,76	*

Md – Mediana; s – Desvio Padrão; CV – Coeficiente de variação; C_s – Coeficiente de simetria; C_k – Coeficiente de Curtose; ns – distribuição não normal de Kolmogorov-Smirnov (KS) teste de 5% de probabilidade; e * distribuição n-normal.

As 55 relações nutricionais selecionadas da população de maior produtividade para compor as normas DRIS da área estudada apresentaram em sua maioria (80%) distribuição normal (Tabela 4). Não foram consideradas transformações logarítmicas, pois ao se testar esse procedimento pouco acrescentou no número de relações que foram normalizadas, sendo apenas de 82%. Urano et al. (2006) ao calcular as normas DRIS para soja obtiveram 58% das normas em condição de normalidade, o que foi considerado insatisfatório para a aplicação precisa do método, após transformação logarítmica dos dados a normalidade atingiu 95%, valor mais consistente para normas DRIS. Da mesma forma, Serra et al. (2010) utilizando normas log-transformadas para algodoeiro obtiveram 95% das relações em condições normais.

Tabela 4. Normas DRIS representadas pela média e coeficiente de variação (CV), valor F de Letzsch (1985) e significância do teste de normalidade de lilliefors (LF) a 5% de probabilidade em cultivo de açaizeiro fertirrigado no nordeste do Pará.

Relações	Média	CV	F	LF	Relações	Média	CV	F	LF
N/P	11,3161	20,7674	2,0289	*	B/Fe	0,1495	29,6404	0,8582	*
N/K	2,2602	14,0701	1,5664	*	B/Zn	2,1881	28,0957	0,8584	*
N/Ca	3,3578	29,1764	1,1586	*	Cu/N	0,2741	54,5839	0,7647	*
N/Mg	18,4121	35,3591	0,7453	*	Cu/P	2,9940	49,1309	1,2741	*
N/S	6,2757	26,4382	0,9362	*	Cu/K	0,6046	49,9848	0,9592	*
N/B	0,3789	25,1101	1,0593	*	Cu/Ca	0,9329	71,8857	0,8625	*
N/Fe	0,0542	26,8602	0,7153	*	Cu/Mg	4,7710	58,9330	1,1215	ns
N/Zn	0,7839	17,1851	1,2064	*	Cu/S	1,7307	63,2015	0,6712	ns
K/P	5,0503	20,5486	1,0273	ns	Cu/B	0,1062	66,3847	0,6397	*
K/Ca	1,5279	36,1424	1,0963	*	Cu/Fe	0,0151	64,3248	0,7611	*
K/Mg	8,2129	33,1072	1,1438	*	Cu/Zn	0,2162	60,0657	0,7700	*
K/B	0,1712	29,1427	1,0589	*	Fe/P	224,8985	34,9745	0,8858	*
K/Fe	0,0242	27,4633	0,8612	*	Fe/Mg	354,6720	35,9802	0,6807	ns
K/Zn	0,3529	21,7328	1,0417	*	Fe/S	122,6305	33,8758	0,6456	ns
Ca/P	3,7407	43,4439	1,3271	*	Fe/Zn	15,4228	30,8422	0,8145	*
Ca/S	1,9886	30,3951	1,2785	ns	Fe/Mn	1,7262	73,4743	0,8370	*
Ca/Fe	0,0174	37,1502	0,6600	*	Mn/N	14,6921	45,2574	0,8089	ns
Mg/P	0,7125	51,2953	1,2908	ns	Mn/P	169,9751	54,9668	0,8038	*
Mg/Ca	0,1928	26,1364	1,1019	ns	Mn/K	33,8828	50,5665	0,8226	*
Mg/S	0,3836	43,2278	0,6887	*	Mn/Ca	51,3710	58,1006	0,6127	*
S/P	1,9018	31,0855	1,0199	*	Mn/Mg	288,4012	69,0287	0,5974	ns
S/K	0,3775	24,5423	0,7116	*	Mn/B	5,7703	60,7637	0,5023	*
S/Mn	0,0150	77,6422	0,6073	*	Mn/Cu	82,5287	89,6327	0,5766	*
S/Zn	0,1301	24,0106	0,8556	*	Mn/Zn	11,2795	44,4255	1,0172	*
B/P	31,9138	36,4418	0,8748	ns	Zn/P	14,9617	29,7743	1,2402	*
B/Ca	9,0339	26,5326	1,5324	*	Zn/Ca	4,3783	31,2109	0,9702	*
B/Mg	49,9022	36,5380	0,9352	ns	Zn/Mg	24,3669	42,9618	0,7720	*
B/S	17,0122	22,2600	1,6258	*					

A relação média N/P considerada adequada para a boa produtividade foi de 11,3 (Tabela 4). Para a cultura da palma de óleo no estado do Pará, a relação nutricional N/P considerada adequada para a boa produtividade foi valor próximo a 16 (Matos et al., 2017). Em normas propostas para o coqueiro na mesma região, o valor da relação N/P da população de referência foi próximo a 14 (Saldanha et al., 2015). Observa-se menor relação N/P, o que sugere menores teores de N em relação ao P para o açaizeiro.

A partir da avaliação nutricional, a ordem do percentual de plantas com teores de nutrientes considerados adequados foi N>S>Zn>B>Fe>K>Ca>Mg>P>Mn>Cu (Figura 4). O N e S apareceram com 79 e 76% das plantas com status de adequados respectivamente, indicando que a fertilização utilizada para esses nutrientes foi melhor manejada. Esse fator é importante, pois na prática é comum a utilização de fórmulas NPK comerciais com elevado percentual de N. Isto pode levar a um desbalanço nutricional por excesso de N, estimulando o crescimento vegetativo da palmeira em detrimento ao desempenho produtivo. Ressalta-se também que a disponibilidade de N requer a presença de S em concentrações adequadas para maior crescimento e melhor qualidade da produção vegetal (Alvarez V. et al., 2007). Portanto a relação N/S de 6,2 apresentada pela norma DRIS pode ser o valor de referência para o açazeiro, o qual foi atingido mediante a aplicação de 42 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N e 6 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de S

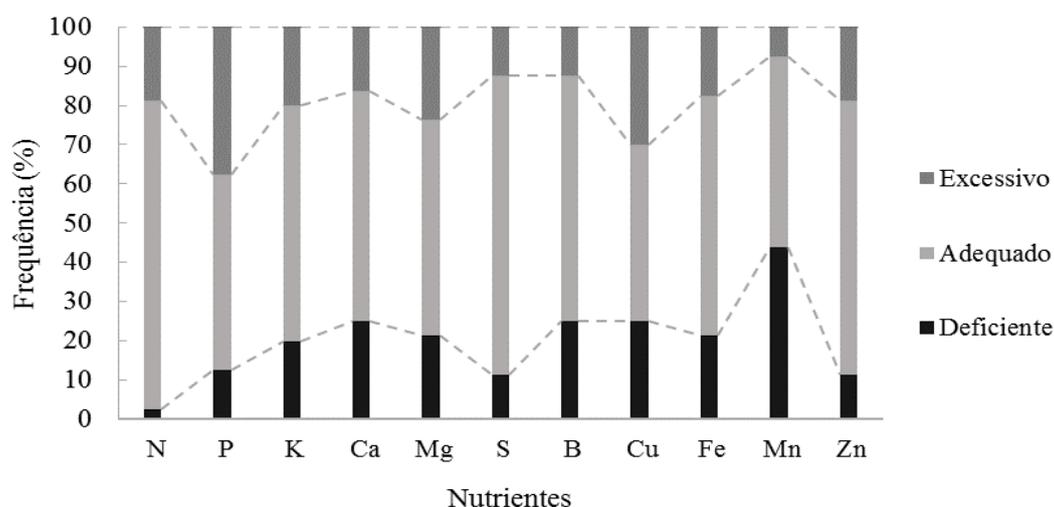


Figura 2. Frequência de touceiras de açazeiro com nível de nutrientes em excesso, adequado e deficiente, indicado pelo método DRIS, em plantio fertirrigado no Nordeste do Pará.

Quanto a frequência dos nutrientes em estado de deficiência, a ordem foi Mn>Ca=B>Cu>Mg>Fe>K>P>S>Zn>N (Figura 2). O Mn foi o nutriente mais deficiente, atingindo 43,8% das plantas. Em mudas de açazeiro cultivadas em vasos com Latossolo Amarelo Distrófico, o micronutriente mais limitante ao crescimento foi o Mn (Viégas et al., 2004) confirmando, dessa forma, a elevada demanda desse nutriente, tanto na fase jovem quanto na produtiva.

A deficiência de Mn, Ca e B atingiram ambas 25% das plantas sendo que o Ca foi o segundo nutriente em menor quantidade aplicado via fertirrigação (Tabela 1). Considerando a composição química de polpa do fruto de açaizeiro, o Ca e o Mn são o segundo e o quinto elemento em maior quantidade dentre os 25 avaliados por Menezes et al. (2008). A demanda do fruto por esses dois nutrientes funciona como dreno e justifica as elevadas deficiências observadas nas folhas pelos índices DRIS. Tais constatações levam a necessidade de se incorporar Mn e elevar as doses de Ca na fertirrigação, principalmente no período de safra. Destaca-se também, a deficiência de B, devido a um suprimento deficitário do nutriente, mesmo sendo muito relevante para a nutrição de espécies da família *Arecaceae* (Viégas & Botelho, 2000; Silva & Falcão, 2002).

A frequência com que os nutrientes aparecem em excesso nas touceiras foi $P > Cu > Mg > K > N = Zn > Fe > Ca > S = B > Mn$ (Figura 3). O P se destaca ocorrendo em excesso foliar em 37,5% das plantas, o que se deve ao valor médio extremamente elevado no solo de 239 mg dm^{-3} (Tabela 1), muito acima do limite tomado como muito bom (maior que 25 mg dm^{-3}) para solos cultiváveis para o estado do Pará, conforme Cravo; Viégas & Brasil (2010). Isso indica que a adubação fosfatada na área foi inadequada, podendo levar a perdas econômicas e a danos ambientais.

Adicionalmente a uma dose elevada de P, outro fator que pode estar relacionado ao seu excesso foliar é que em adubações via irrigação a aplicação de fertilizantes é mais parcelada e bem localizada próximo à planta. Nesses sistemas é comum que o P aplicado nas primeiras adubações sature os sítios de troca na camada superficial do solo. Com o decorrer das adubações, o P na superfície tende a ficar mais livre (Mohammad; Hammouri & Ferdows, 2004). A maior disponibilidade e mobilidade aumentada pelo fluxo da lâmina de irrigação são fatores comuns que promovem excessos dos teores de fósforo às plantas (Dominghetti et al., 2014).

Avaliando a fertirrigação com fertilizante fosfatado na dose de 30 kg ha^{-1} em um Latossolo, Zanini et al. (2007) encontraram valores elevados desse nutriente no solo, que variaram de 100 a 1200 mg dm^{-3} . Tais resultados demonstram que as doses de fósforo aplicadas via fertirrigação para açaizeiro podem ser menores e que para solos bem intemperizados com elevada fixação de fósforo, como o utilizado na presente pesquisa, a irrigação é uma alternativa para a elevação da disponibilidade desse nutriente.

O Mg apresentou a terceira maior frequência de excesso foliar nas touceiras (23,8% das plantas), ou seja, o suprimento desse nutriente também deve ser avaliado com rigor para se evitar o consumo nutricional de luxo. O teor médio de Mg no solo foi classificado como bom (Cravo; Viégas & Brasil, 2010) fator importante quando relacionado a sua interação com o P, que é sinérgica. A absorção de P é máxima quando na presença adequada de Mg na solução do solo (Silva & Trevisan, 2015), fato que provavelmente ocorreu na presente pesquisa.

O Cu foi o segundo nutriente com maior frequência de plantas com excesso (30% da população), fato atribuído ao seu valor no solo (Tabela 1) que de acordo com Cravo; Viégas & Brasil (2010) está classificado como alto (acima de $1,8 \text{ mg dm}^{-3}$) para solos do estado do Pará. A utilização de insumos cúpricos para manejo fitossanitário, no uso anterior da área pode ter sido a causa dos altos teores residuais de Cu, em parte da área cultivada. Avaliando uma área de cultivo de uva de 15 anos, com uso de fungicida cuprico, Nogueirol et al. (2010) também encontraram valores elevados desse elemento no solo.

As deficiências de Mn, o micronutriente mais demandado pelo açazeiro, e excesso de P, no qual as adubações via fertirrigação elevaram muito sua disponibilidade, constatados na avaliação nutricional foliar, valida a coerência do diagnóstico realizado pelo DRIS, o que pode indicar também que as normas utilizadas são satisfatórias. Diferente da interpretação por faixas de suficiência, o diagnóstico pelo DRIS possui menor influência dos fatores ambientais na avaliação nutricional por considerar a relação entre os nutrientes (par a par) em substituição de seus valores unitários e ainda considera o conceito de balanço nutricional (Cunha et al., 2016).

2.3.2. Distribuição espacial dos Índices DRIS e da produtividade.

Após a determinação dos índices DRIS, esses valores foram submetidos a análise descritiva para observar se há normalidade nos dados. O resultado obtido pela análise estatística descritiva, após a retirada dos dados candidatos a valores discrepantes (*outliers*), encontram-se na Tabela 5. Todos os nutrientes apresentaram valores de medidas de tendência central (média e mediana) bem próximos. Coeficientes de assimetria próximos de zero, sugerindo um ajuste à distribuição normal, o que se

confirmou para Mg, Zn, Cu e Mn, conforme teste de Kolmogorov-Smirnov (KS) com nível de 5% de probabilidade.

Tabela 5. Estatística descritiva dos índices em plantas de açazeiro no nordeste paraense.

Índices DRIS	Média	Md	Mín.	Máx.	S ²	S	CV%	C _s	C _k	K-S
IN	1,711	1,535	-2,906	6,989	4,296	2,072	2,072	0,061	0,383	*
IP	2,930	2,898	-1,141	7,311	3,982	1,995	1,995	-1,721	3,069	*
IK	0,669	0,405	-7,473	8,740	11,446	3,383	3,383	0,008	-0,171	*
ICa	-1,084	-1,375	-9,806	8,946	14,795	3,846	3,846	0,686	0,538	*
IMg	0,107	-0,025	-6,928	8,093	13,747	3,707	3,707	1,128	2,642	*
IS	0,833	1,180	-5,373	6,363	5,133	2,265	2,265	-1,466	4,609	*
IB	0,762	0,810	-7,197	7,671	10,088	3,176	3,176	-0,483	0,422	*
ICu	2,745	0,865	-2,272	9,564	8,573	2,928	2,928	-2,085	7,125	*
IFe	-0,147	0,100	-8,446	7,810	11,784	3,432	3,432	0,030	-0,327	*
IMn	-2,654	-1,945	-10,466	5,647	13,340	3,652	3,652	-2,954	15,008	*
IZn	0,146	-0,065	-8,690	7,083	10,906	3,302	3,302	0,623	1,237	*
IBN	41,363	37,565	16,290	133,800	345,579	18,589	0,45	1,9886	6,928	ns

IBN – Índice de balanço nutricional; Md – Mediana; s – Desvio Padrão; CV – Coeficiente de variação; C_s – Coeficiente de simetria; C_k – Coeficiente de Curtose; ns – distribuição não normal de Kolmogorov-Smirnov (KS) teste de 5% de probabilidade; e * distribuição n-normal.

As relações entre os índices e a produtividade foi observada a partir da correlção de Pearson. O índice DRIS de Ca foi o que apresentou maior correlação positiva significativas ($p < 0,01$) com as demais variáveis, sendo o único a se correlacionar com a produtividade (Tabela 5). Esse resultado confirma a demanda do açazeiro por Ca na fase de maturação dos frutos, sendo fundamental seu suprimento pela fertirrigação nesse período. Os índices DRIS de Ca e, também os de Mn, foram os únicos a se correlacionaram com o IBN, ressaltando que os teores desses elementos são fundamentais para o balanço nutricional do açazeiro.

Tabela 6. Correlação entre as variáveis índices DRIS, índice de balanço nutricional IBN e produtividade do açazeiro fertirrigado (abaixo da diagonal) e seus respectivos valores de p (acima da diagonal).

	IN	IP	IK	ICa	IMg	IS	IB	ICu	IFe	IMn	IZn	IBN	PROD
IN	-	0,258	0,855	0,180	0,202	0,053	0,943	0,003	0,810	0,104	0,431	0,106	0,398
IP	0,128 ^{ns}	-	0,000	0,000	0,000	0,531	0,794	0,239	0,812	0,116	0,672	0,978	0,493
IK	-0,020 ^{ns}	0,519**	-	0,000	0,023	0,321	0,201	0,678	0,697	0,002	0,562	0,094	0,236
ICa	-0,151 ^{ns}	-0,409**	-0,454**	-	0,000	0,154	0,669	0,244	0,951	0,020	0,703	0,009	0,039
IMg	-0,144 ^{ns}	-0,386**	-0,254*	0,520**	-	0,453	0,779	0,667	0,765	0,000	0,045	0,000	0,771
IS	-0,217 ^{ns}	-0,071 ^{ns}	0,112 ^{ns}	-0,160 ^{ns}	-0,085 ^{ns}	-	0,232	0,067	0,819	0,761	0,777	0,629	0,926
IB	-0,008 ^{ns}	-0,030 ^{ns}	-0,144 ^{ns}	0,048 ^{ns}	-0,031 ^{ns}	-0,135 ^{ns}	-	0,073	0,235	0,512	0,307	0,145	0,846
ICu	-0,323**	-0,133 ^{ns}	-0,047 ^{ns}	-0,130 ^{ns}	0,049 ^{ns}	-0,206 ^{ns}	-0,201 ^{ns}	-	0,001	0,034	0,010	0,057	0,307
IFe	0,027 ^{ns}	-0,027 ^{ns}	0,044 ^{ns}	-0,006 ^{ns}	0,033 ^{ns}	-0,026 ^{ns}	-0,134 ^{ns}	-0,351**	-	0,871	0,338	0,778	0,710
IMn	0,183 ^{ns}	-0,177 ^{ns}	-0,337**	-0,259*	-0,511**	0,034 ^{ns}	-0,074 ^{ns}	-0,237*	-0,018 ^{ns}	-	0,689	0,000	0,498
IZn	0,089 ^{ns}	-0,048 ^{ns}	0,065 ^{ns}	-0,043 ^{ns}	-0,224*	0,032 ^{ns}	-0,115 ^{ns}	-0,287**	-0,108 ^{ns}	0,045 ^{ns}	-	0,434	0,791
IBN	0,182 ^{ns}	0,003 ^{ns}	0,188 ^{ns}	0,290**	0,469**	-0,054 ^{ns}	0,164 ^{ns}	-0,214 ^{ns}	0,032 ^{ns}	-0,577**	0,088 ^{ns}	-	0,132
PROD	-0,096 ^{ns}	-0,077 ^{ns}	-0,133 ^{ns}	0,231*	0,033 ^{ns}	-0,010 ^{ns}	-0,022 ^{ns}	-0,115 ^{ns}	0,042 ^{ns}	0,076 ^{ns}	0,030 ^{ns}	0,169 ^{ns}	-

^{ns}: não significativo ($P > 0,05$); * : significativo ($P \leq 0,05$); e ** : significativo ($P \leq 0,01$), de probabilidade na correlação de Person.

Com a normalidade dos índices DRIS (Tabela 5) e produtividade foi realizada a análise geoestatística, com a finalidade de identificar a variabilidade espacial. Foi observado dependência espacial moderada para a maioria das variáveis, variando de 50 a 76%, sendo que o índice de fósforo apresentou dependência espacial forte. Tal dependência confirma que a distribuição dos índices DRIS para cada nutriente não é aleatória e sofre variação em função da distância entre as amostras (Tabela 7). Foram encontrados para os nutrientes na cultura do cafeeiro dependência espacial de moderada (Ca e B) a forte (K e Zn) para a cultura do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) (Silva et al., 2013) e seus índices DRIS em cultivos comerciais (Fonseca et al., 2015; Silva et al., 2011). Avaliando teores de nutrientes na cultura do mamoeiro, Lima et al. (2016) observaram que todos os nutrientes e a produtividade apresentaram dependência espacial forte. Tais resultados indicam que o uso de variáveis nutricionais na agricultura de precisão pode ser ferramentas eficientes para ajustes locais de adubação.

Tabela 7. Parâmetros dos variogramas ajustados para os índices DRIS e produtividade de açaizeiro fertirrigado no nordeste do Pará.

Variáveis	Modelos e parâmetros							
	Modelo	C0	C0+C	a	IDE (%)	R ²	SQR	
Índice N	Gaussiano	5,2	10,57	91	50,8	Moderada	84,2	8,4
Índice P	Esférico	6,34	23,85	66	76	Forte	36,8	35,8
Índice K	Gaussiano	15,25	30,51	90	50	Moderada	31,2	73
Índice Ca	Gaussiano	11,3	27,97	134	59,5	Moderada	43,6	22,0
Índice Mg	Esférico	11,43	30,41	69,4	62,4	Moderada	38,5	71
Índice S	Exponencial	12,92	24,59	98	51,4	Moderada	42,8	30,1
Índice B	Gaussiano	13,64	34,07	210	60	Moderada	87,4	14,6
Índice Cu	Esférico	64	111,41	81	50	Moderada	71	36,4
Índice Fe	Esférico	8,47	31,63	86	73,2	Moderada	90,2	14,2
Índice Mn	Gaussiano	25,4	82,81	139,1	60,3	Moderada	99,5	4,82
Índice Zn	Gaussiano	18,22	54,18	88	66,4	Moderada	42,1	55,5
Produtividade	Gaussiano	4,28	8,24	91	50	Moderada	54,5	1,32

C₀ - efeito pepita; C₀+C - patamar; IDE - índice de dependência espacial (C/C₀ + C) e a classificação de Zimback (2001); a - alcance; e R² - coeficiente de determinação do modelo do variograma.

Os índices DRIS para S se ajustaram ao modelo exponencial, o patamar se estabilizou com alcance de 98 m (Tabela 6), este modelo é adequado a fenômenos irregulares em pequena escala, isto é, sendo eficiente em distâncias médias (Aquino et al., 2015). Os de N, K, Ca, B, Mn e Zn ao modelo gaussiano e P, Mg, Cu e Fe ao modelo esférico (Tabela 7). Este último modelo é o mais comum, podendo-se afirmar que equivale à função de distribuição normal da estatística clássica (Landim, 2006), estas foram as que apresentaram a maior variabilidade com as menores distâncias. Ressalta-se que os nutrientes P, Mg e Cu foram os com maior frequência de excesso na área (Figuras 4B, 4H e 4E), apresentando valores com índices na sua maioria positivos. Esse resultado mostra que os diagnósticos de excesso pelo DRIS foram bem representados na geoestatística (modelo esférico), reafirmando a confiabilidade para as tomadas de decisão no manejo nutricional.

A partir dos modelos e parâmetros para os variogramas, os dados foram interpolados por krigagem ordinária comum para a criação de mapas na avaliação do estado nutricional. Para o índice DRIS de S a maioria dos valores se encontram próximo de zero (Figura 4F). As regiões de desequilíbrio nutricional para esse nutrientes estão em pontos específico no mapa (Figura 4F) apresentando deficiência com índices abaixo de -2,4.

A variabilidade espacial do índice N, que foi considerado o mais adequado (Figura 2), observa-se pontos muito restrito de deficiência e excesso na área amostral. A

maioria dos valores se encontram acima de zero, as regiões de touceiras com o estado nutricional adequado apresentaram valor de índice N próximo de 0,1.

O alcance dos índices DRIS apresentaram grande variação cujos maiores valores foram para os ajustes de Mn, Ca e B (Figuras 4J, 4D e 4G). Neste estudo os pontos de amostragem foram suficientemente próximos para detectar a variabilidade espacial dos índices DRIS. Na distribuição espacial dos índices de Mn (Figura 4J) o valor máximo da escala do mapa é zero, apresentado na sua maioria valores negativos. No ponto mais limitante, os valores estão abaixo de -15.

A grande variabilidade espacial dos índices do Ca (Figura 4D) foi apresentada por pequenos pontos de excesso e grandes pontos de touceiras com deficiência, considerando a região que varia com índices na faixa de 1,1 a -0,7 como adequado. Na distribuição espacial do índice B (Figura 4G), há uma grande variação, o mapa indica a faixa mais próxima do adequado, que está entre os valores de -1,4 a 1,4. Observa-se que a maioria dos valores se encontram próximo de zero (Figura G4), sendo os pontos específicos de deficiência com índice em torno de -5,6 a -7. A produtividade também se ajustou ao modelo gaussiano (Figura 4M), o patamar estabiliza-se com o alcance de 91 m descrevendo a máxima distancia da sua variação total no espaço amostral. Nessa condição há uma grande variabilidade da produção de açaí em um mesmo cultivo, devido a amplitude dos dados que variaram de 0,48 a 9,6 t ha⁻¹, com uma produtividade média em torno de 5 t ha⁻¹. Tal fato pode ser atribuído a variabilidade genética do açazeiro plantados nas áreas produtivas (Farias Neto et al., 2005).

Em estudo de Farias Neto et al. (2008), foi observado que o peso total do fruto está muito relacionado a variabilidade genética. Outro fator que pode estar contribuindo para a variabilidade de produção são os desbalanços nutricionais indicados nos mapas dos índices DRIS. Tal fato pode ser relacionado aos excessos de P e deficiência de Ca e micronutrientes da presente pesquisa. De acordo com Annamalai (2004) e Oliveira et al. (2009), para a cultura do citros, a aplicação excessiva ou deficiente de insumos contribuem para a alta variabilidade da produtividade a partir de estudos geoestatísticos.

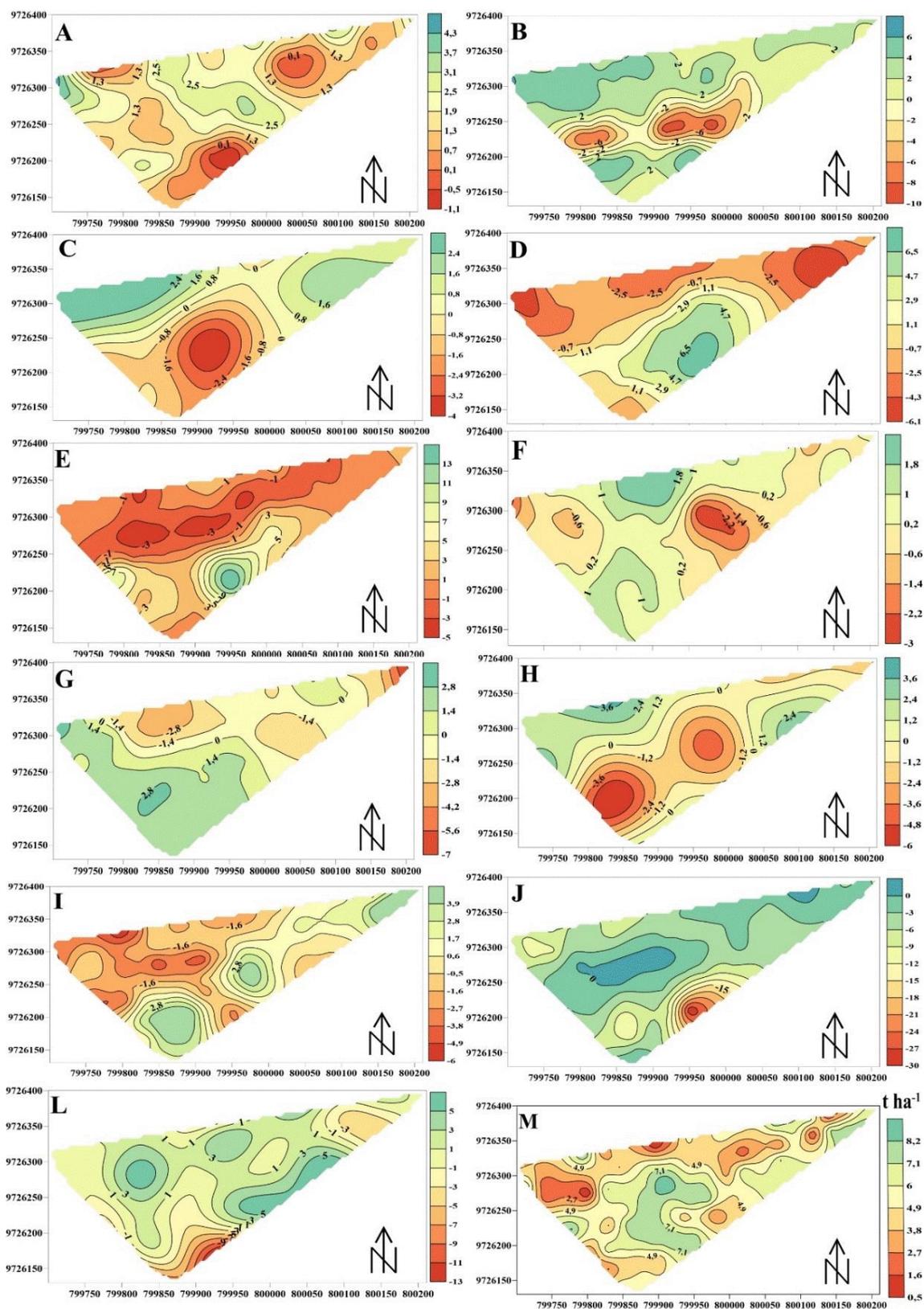


Figura 4. Mapas de isolinhas do índice N (A), índice P (B), índice K (C), índice Ca (D), índice Mg (E), índice S (F), índice B (G), índice Cu (H), índice Fe (I), índice Mn (J), índice Zn (L) e produtividade (M) em cultivo de açaizeiro fertirrigado.

Considerando as variáveis nutricionais, as áreas de deficiência no mapa podem estar relacionadas a redução da pressão de água ao final da malha hidráulica, fato comum em função do coeficiente de perda de carga que influencia na homogeneidade na distribuição de água no sistema (Saraiva et al., 2014). Outro fator que pode ter ocorrido é que nos momentos de aplicação dos nutrientes, principalmente N, P, K e S via fertirrigação, o tempo de avanço que corresponde ao intervalo necessário para a limpeza da canalização e eliminação total do fertilizante não foi suficiente (Miranda et al., 2006). Esse fato pode levar a baixa uniformidade na distribuição de fertilizante.

CONCLUSÕES

A avaliação do estado nutricional do açazeiro fertirrigado pelo DRIS foi eficiente e refletiu bem o manejo da área e características da planta apontando os nutrientes N e S como mais balanceadas, bem como o Mn, Ca, e B, que são nutrientes muito requeridos por essa palmeira, como mais frequentemente deficiente nas folhas.

O excesso de P foliar tem relação com a maior disponibilidade desse nutriente em sistema fertirrigado, bem como indica que as adubações fosfatadas no açazeiro devem ser racionalizadas mediante a redução de suas doses.

Os índices DRIS para todos os nutrientes apresentaram dependência espacial moderada podendo representar a distribuição dos nutrientes no plantio de açazeiro fertirrigado, da mesma forma o peso dos frutos atende as variações de produtividade dentro dessas áreas. O maior e menor alcance foi encontrado para os nutrientes Mn e P, respectivamente. A produtividade e os índices DRIS de Mn, Ca e B apresentaram elevada variabilidade espacial.

O alcance dos índices DRIS apresentaram grande variação, sendo que os maiores valores foram para os ajustes de Mn, Ca e B, os nutrientes que ocorreram em maiores casos de deficiências nas touceiras.

REFERÊNCIA

- ALVAREZ V., V. H.; ROSCOE, R.; KURIHARA, C. H.; PEREIRA, N. F. (2007) Enxofre. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (eds.). Fertilidade do solo. Viçosa: SBCS, p. 596-635.
- AMAGUCHI, K. K. L., PEREIRA, L. F. R., LAMARÃO, C. V., LIMA, E. S., & VEIGA-JUNIOR, V. F. (2015). Amazon acai: Chemistry and biological activities: A review. *Food Chemistry*, v. 179, p. 137– 151.
- ANNAMALAI, P. Citrus yield mapping system using machine vision. Gainesville: University of Florida, 2004, 81p. Tese Doutorado.
- AQUINO, R. E.; CAMPOS, M. C. C.; MARQUES JUNIOR, J.; OLIVEIRA, I. A.; TEIXEIRA, D.B; CUNHA, J. M. (2015). Use of scaled semivariograms in the planning sample of soil physical properties in Southern amazonas, Brazil. *Revista Brasileira de Ciências Solo*, v. 39, p. 21-30.
- BALDOCK, J.O.; SCHULTE, E. E. (1996) Plant analysis with standardized scores combines DRIS and sufficiency range approaches for corn. *Agronomy Journal*, v.88, p. 448- 456.
- BEAUFILS, E. R. (1973) Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS): a general scheme for experimentation and calibration based on principles developed from research in plant nutrition. *South Africa Soil Science. Bulletin, Pietermaritzburg*, v. 1, n. 1, p. 1-132.
- CARMO-LUCIO, F. A.; LIMA, H. V.; FERNANDES, A. R.; OLIVEIRA, P. D.; RAMOS, E. M. L. S. (2014). Physical and chemical soil quality index in irrigated acai plantations, eastern amazon, Brazil. *Agrociência*, v. 48, n.4, p. 361-375.
- CRAVO, M. S.; VIÉGAS, I. J. M. & BRASIL, E. C. (2010) *Recomendações de adubação e calagem para o Estado do Pará*, 1ª ed. Embrapa Amazônia Oriental, Belém, PA.
- CUNHA, M.L.P.; AQUINO, L.A.; NOVAIS, R.F.; CLEMENTE, J.M.; AQUINO, P.M.; OLIVEIRA, T.F. Diagnosis of the Nutritional Status of Garlic crops. *Rev. Bras. Cienc. Solo* 2016; v. 40, e0140771, 14p.
- DEZORDI, L. R.; AQUINO, L. A.; AQUINO, R. F. B. A., CLEMENTE, J. M. & ASSUNÇÃO, N S. (2016). Diagnostic Methods to Assess the Nutritional Status of the Carrot Crop. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 40, e0140813, 2016. <https://dx.doi.org/10.1590/18069657rbc20140813>
- DIMENSTEIN, L. & FARIAS NETO, J. T. (2008). Dados preliminares para a produção de frutos em açaizeiros sob irrigação em terra firme no Estado do Pará. In: DIMENSTEIN, L.; FARIAS NETO, J. T. *Irrigação e fertirrigação em fruteiras*. Fortaleza: Instituto Frutal. p.139-144.

DOMINGHETTI, A. W.; SCALCO, M. S.; GUIMARÃES, R. J.; SILVA, D. R. G.; CARVALHO, J. P. S.; PEREIRA, V. (2014) Doses de fósforo e irrigação na nutrição foliar do cafeeiro. *Rev Bras Eng Agr Amb.*, v. 18, p. 1235-1240.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. (2011) Manual de métodos de análises de solos. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa solos, 230p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (2013) Sistema brasileiro de classificação de solos. 3.ed. rev. ampl. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 353 p.

FARIAS NETO, J. T. de; OLIVEIRA, M. S. P. de; MULLER, A. A.; NOGUEIRA, O. L.; ANAISSI, D. F. S. P. Variabilidade genética em progênies jovens de açaizeiro. *Cerne, Lavras*, v.11, n.4, p.336-341, 2005.

FARIAS NETO, J.T.; RESENDE, M.D.V. de; OLIVEIRA, M.S.P. de; NOGUEIRA, O.L.; FALCAO, P.N.B.; SANTOS, N.S.A. dos. Estimativas de parâmetros genéticos e ganhos de seleção em progênies de polinização aberta de açaizeiro. *Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal*, v.30, n.4, p.1051-1056, 2008.

FONSECA, A. S.; LIMA, J. S. S.; SILVA, S. A.; XAVIER, A. C.; A. P. DRUMOND-NETO (2015) Spatial variability of the productivity and the nutritional condition of coffee canephora. *Coffee Science, Lavras*, v. 10, n. 4, p. 420 - 428.

GALATE, R. S.; MOTA, M. G. C.; GAIA, J. M. D.; COSTA, M. S. S. (2014) Distância fenotípica entre matrizes de açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) procedentes do nordeste do Pará. *Semina: Ciências Agrárias, Londrina*, v. 35, n. 4, p. 1667-1682.

GOLDEN SOFTWARE INC. (1999). Surfer for windows. Surfer. Surfer 7.0. Contouring and 3D surface mapping for scientist's engineers. User's Guide. New York: Golden Software, Golden, CO, 1999. 619p.

GS+: Geostatistics for environmental sciences. (2004) 7.ed. Michigan, Plainwell: Gamma Desing Software. 159p.

HOMMA, A. K. O.; CARVALHO, J. E. U.; FARIAS NETO, J. T.; MENEZES; A. J. E. A.; MATOS, G. B. (2009) Custo operacional de açaizeiro irrigado com microaspersor no município de Tomé-Açu. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2009. 5p. (Comunicado Técnico, 88).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). (2015) Levantamento sistemático da produção agrícola paraense (LSPA/IBGE). Belém: IBGE.

KURIHARA, C.H.; VENEGAS, V.H.A.; NEVES, J.C.L.; NOVAIS, R.F.; STAUT, L.A. (2013) Faixas de suficiência para teores foliares de nutrientes em algodão e em soja, definidas em função de índices DRIS. *Revista Ceres*, v.60, p.412-419.

LANDIM P.M.B. (2006) Sobre Geostatística e mapas. *Terra e Didática*, v. 2, n. 1, p. 19-33. Disponível em: <http://www.ige.unicamp.br/terraedidatica/> . Acesso em: 17 de julho de 2016.

LETZSCH, W. S. (1985) Computer program for selection of norms for use in the diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v. 16, p. 339-347.

LIMA, J.S.S.; DANIELLE, I.A.; COELHO, R.I.; STURÍÃO, W.P.; SILVA, S.A. (2016) Spatial variability in the diagnosis of nutritional status in the papaya. *Revista Ciência Agronômica*, v. 47, n. 2, p. 264-274.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C. & OLVEIRA, S. A. (1997) *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 319 p.

MATOS, G.S.B.; FERNANDES, A. R.; WADT, P.G.S.; PINA, A.J.A.; FRANZINI, V.I.; RAMOS, H. M.N. (2017) The Use of DRIS for Nutritional Diagnosis in Oil Palm in the State of Pará. *Rev Bras Cienc Solo.*; 41:e0150466. DOI: 10.1590/18069657rbc20150466.

MENEZES, E. M.S.; TORRES, A. T. & SABAA SRUR, A. U. (2008) Valor nutricional da polpa de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) liofilizada. *Acta Amaz.* [online], v.38, n.2, p.311-316.

MIRANDA, N.O.; OLIVEIRA, T. S.; MATOS, J. A.; PINTO, A. C. (2006) Variabilidade espacial da fertirrigação em Latossolo Vermelho Amarelo cultivado com melão. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, v.10, n.2, p.331–337.

MOHAMMAD, M.J.; HAMMOURI, A. & FERDOWS, A.E. (2004) Phosphorus fertigation and preplant conventional soil application of drip irrigation summer squash. *Journal of Agronomy*, v. 3, p. 162-169

NACHTIGALL, G.R. & DECHEN, A.R. (2007) DRIS use on apple orchard nutritional evaluation in response to potassium fertilization. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v. 38, n. 17, p. 2557-2566.

NOGUEIROL, R.C.; ALLEONI, L.R.F.; NACHTIGALL, G.R.; MELO, G.W. (2010) Sequential extraction availability of copper in Cu fungicide-amended vineyard soils from Southern Brazil. *Journal of Hazardous Materials*, v.181, p. 931–937.

OLIVEIRA, P. C. G.; FARIAS, P. R. S.; LIMA, H. V.; FERNANDES, A. R.; OLIVEIRA, F. A.; PITA, J. D. (2009) Variabilidade espacial de propriedades químicas do solo e da produtividade de citros na Amazônia Oriental. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, v.13, n.6, p.708–715.

SALDANHA, E. C. M.; SILVA JUNIOR, M. L.; OKUMRA, R. S.; WADT, P. G. S. (2015) Estabelecimento de normas DRIS para a cultura do coqueiro híbrido no estado do Pará. *Revista Caatinga*, v. 28, p. 99 – 109.

SANTOS, E.F.; DONHA, R.M.A.; MAGNO, ARAÚJO, C.M.M.; LAVRES JÚNIOR, J.; CAMACHO, M.A. (2013) Faixas normais de nutrientes em cana-de-açúcar pelos métodos ChM, DRIS e CND e nível crítico pela distribuição normal reduzida. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 37, p. 1651-1658.

SANTOS, J.C.; SENA, A.L.S.; HOMMA, A.K.O. (2012) Viabilidade econômica do manejo de açazais no estuário amazônico do Pará. In: GUIDUCCI, R.C.N.; LIMA FILHO, J.R.; MOTA, M.M. (eds.). Viabilidade econômica de sistemas de produção Agropecuários. Brasília: Embrapa, 2012. p.351-409.

SARAIVA, K. R.; REBOUÇAS, R. M. & SOUZA, F. (2014) Desempenho de um sistema de irrigação por microaspersão na cultura do coqueiro. Revista Agropecuária Técnica (On line), V. 35, n. 1, p. 62-68.

SERRA, A. P.; MARCHETTI, M. E.; VITORINO, A. C. T.; NOVELINO, J. O. & CAMACHO, M. A. (2010). Desenvolvimento de normas DRIS e CND e avaliação do estado nutricional da cultura do algodoeiro. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.34, n.1, p. 97-104.

SILVA, J. R. A. & FALCÃO, N. P. S. (2002) Caracterização de sintomas de carências nutricionais em mudas de pupunheira cultivadas em solução nutritiva. Acta amazônica v. 32, p. 529-539.

SILVA, M. L. S. & TREVISAN A. R. (2015) Interações iônicas e seus efeitos na nutrição de plantas. Piracicaba: IPNI. (Informações Agrônomicas, 49).

SILVA, S. A.; LIMA, J. S. S. & BOTTEGA, E. L. (2013) Yield mapping of arabic coffee and their relationship with plant nutritional status. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, Temuco, v. 13, n. 3, p. 556-564.

SILVA, S. A.; LIMA, J. S. S. & QUEIROZ, D. M. (2011) Spatial variability in nutritional status of arabic Coffee based on DRIS index. Revista Ceres, Viçosa, v. 58, n. 2, p. 256-261.

SILVESTRE, W. V. D.; PINHEIRO, H. A.; SOUZA, R. O. R. M. ; PALHETA, L. F. . Morphological and physiological responses of açai seedlings subjected to different watering regimes. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental (Online), v. 20, p. 364, 2016.

SIQUEIRA, D. S., MARQUES JR., J. & PEREIRA, G. T. (2010) The use of landforms to predict the variability of soil and orange attributes. Geoderma, Amsterdam, v. 155, n.1, p. 55-66.

SOUZA, R.O.R.M.; AMARAL, M.A.C.M.; SILVESTRE, W.V.D.; SACRAMENTA, T. M. (2013) Avaliação econômica da irrigação em pomares de açai. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada v.7, n. 1, p. 54 - 65.

STATSOFT. (2010) Statistica (data analysis software system). Version 10. Disponível em: <<http://www.statsoft.com>>. Acesso em: 10 jan. 2017.

VIÉGAS, I. de J. M.; FRAZÃO, D. A. C.; THOMAZ, M. A. A.; CONCEIÇÃO, H. E. O.; PINHEIRO, E. (2004) Limitações nutricionais para o cultivo de açazeiro em Latossolo Amarelo textura média, Estado do Pará. Revista Brasileira de Fruticultura, v. 26, n. 2, p. 382-384.

VIÉGAS, I. J. M. & BOTELHO, S. M. (2000). Nutrição e adubação do dendezeiro. In: A cultura do dendezeiro na Amazônia brasileira, eds. VIÉGAS, I. J. M., & A. A. MÜLLER, p. 229-273, Belém: Embrapa Amazônia Oriental.

WADT, P.G.S.; NOVAIS, R.F.; VENEGAS, A., V.H.; FONSECA, S.; BARROS, N.F. de; DIAS, L.E. (1998) Três métodos de cálculo do DRIS para avaliar o potencial de resposta à adubação de árvores de eucalipto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 22, p.661-666.

YOKOMIZO, G. K. I.; QUEIROZ, J. A. L.; MOCHIUTTI, S.; PINHEIRO, I. N.; SILVA, P. A. R. (2010) Desempenho de progênies de açaizeiros avaliadas para caracteres agronômicos no Estado do Amapá. Scientia. Forestalis, Piracicaba, v. 38, n. 87, p. 367-376.

ZANINI, J. R.; BARRETO, A. K. G.; FORATO, L. C.; NATALE, W. (2007) Distribuição de fósforo no bulbo molhado, aplicado via fertirrigação por gotejamento com ácido fosfórico. Engenharia Agrícola, v.27, p.180-193.

ZIMBACK, C. R. L. (2001) Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade. Botucatu, 2001. 114f. Tese (Livre-Docência em Levantamento do solo e fotopedologia) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista.

3. CAPITULO 2: AVALIAÇÃO DA VARIABILIDADE DO ESTADO NUTRICIONAL E PRODUTIVIDADE DE AÇAIZEIRO FERTIRRIGADO.

RESUMO

Com o aumento do cultivo de açaizeiro em áreas de terra firme há a necessidade de monitoramento do estado nutricional, principalmente por que são fertirrigado e a eficiência do sistema de manejo. O objetivo foi avaliar o estado nutricional e a produtividade do açaizeiro fertirrigado por meio da análise multivariada e geostatística, visando definir zonas de manejo diferenciadas. O trabalho foi desenvolvido no município de Tomé-Açu, PA, em uma área de 5,75 ha, com 80 pontos amostrais georreferenciados. Foram determinados a produtividade e os teores de nutrientes na planta (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn). Com o uso da geostatística foi possível definir os diferentes níveis dos nutrientes dos individuais. Na determinação das zonas de manejo foi realizada a partir das análises de componentes principais (ACP) – usado para definir a variação total e qual nutriente participam dessa variação, definindo o número de grupos – e análise de agrupamentos (AA) – para definir quais pontos estão dentro de cada grupo. Foram encontradas três zonas de manejo conforme os diferentes níveis nutricionais, descrevendo uma heterogeneidade nutricional entre as plantas de açaizeiro nas diferentes zonas, onde a produtividade variou de 4,88 a 5,68 t ha⁻¹. Por meio da ACP foram destacados três componentes principais que explicaram 51,5% da variabilidade total dos dados, assim descritos: CP1 (Mg, Ca, P e K), CP2 (S, Fe e Cu) e CP3 (Zn e Mn). As maiores causas de variação estão relacionadas aos nutrientes Ca, Mg e K, assim como o P, principalmente na região determinada como zona de manejo 3 (ZM 3). Todos os nutrientes individualmente apresentaram uma dependência espacial moderada, com exceção do teor foliar de Ca, que apresentou dependência espacial alta. A ZM 3 foi a que apresentou relação nutricional mais satisfatória com a maior produtividade na seguinte ordem decrescente N>K>Ca>S>P>Mg>Fe>Mn>B>Zn>Cu.

Palavra-chave: agricultura de precisão, açaí, teores de nutrientes, análise multivariada, Amazônia.

EVALUATION OF THE SPATIAL VARIABILITY OF NUTRITIONAL STATUS AND PRODUCTIVITY OF THE FERTIRRIGATED ASSAI PALM

ABSTRACT

With the increase of the cultivation of assai palm in areas of dry land there is the necessity of monitoring of the nutritional state, mainly because they are fertigated and the efficiency of the management system. The objective was to evaluate the nutritional status and productivity of the fertirrigated assai palm by means of the multivariate and geostatistical analysis, aiming at defining differentiated management zones. The work was developed in the municipality of Tomé-Açu, PA, in an area of 5.75 ha, with 80 georeferenced sample points. The productivity and foliar nutrient contents (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn and Zn) were determined. With the use of geostatistics, it was possible to define the different nutrient levels. In the determination of the management zones, it was carried out from the main component analyzes (PCA) - used to define the total variation and which nutrient participate in this variation, defining the number of groups - and cluster analysis (AA) - to define which points are within each group. Three management zones were found according to the different nutritional levels, describing a nutritional heterogeneity between the açazeiro plants in the different zones, where the yield ranged from 4.88 to 5.68 t ha⁻¹. The main components of CPA (Mg, Ca, P and K), CP2 (S, Fe and Cu) and CP3 (Zn and Mn). The major causes of variation are related to nutrients Ca, Mg and K, as well as P, mainly in the region determined as zone of management 3 (ZM 3). All nutrients individually presented a moderate spatial dependence, with the exception of the foliar content of Ca, which presented high spatial dependence. The ZM 3 presented the most satisfactory nutritional relation with the highest productivity in the following decreasing order N > K > Ca > S > P > Mg > Fe > Mn > B > Zn > Cu.

Key words: precision agriculture, assaí, nutrient contents, multivariate analysis, Amazonia.

3.1. INTRODUÇÃO

O estado do Pará é o maior produtor de açaí com cerca de 154 mil hectares plantados com a cultura, respondendo por aproximadamente 92% da produção nacional (IBGE, 2015). Dentre os aspectos que mais motivam uma elevada demanda no mercado nacional e internacional estão o uso na alimentação, estético e a busca por hábitos saudáveis (Santana et al., 2011; Yamaguchi et al., 2015).

O plantio de açazeiro vem sendo cultivado não apenas em áreas de várzeas, mas se expandindo em áreas de terra firme (Homma et al., 2006; Farias Neto et al., 2011). Com o intuito de aumentar a produtividade, tanto na safra como na entressafra, se faz fundamental maior controle do manejo no campo. Tal fato está relacionado a registros mais eficientes da produção, assim como operações mais precisas de adubação e colheita (Silva et al., 2015; Oliveira et al., 2015). Desta forma, o monitoramento de cultivos comerciais, deve identificar as regiões mais homogêneas de manejo para em seguida utilizar-se de um plano de ação mais efetivo (Davatgar; Neishabouri & Sepaskhah, 2012).

Na agricultura de precisão, as zonas de manejo ou sítios de manejo específicos possibilitam distinguir locais por suas propriedades, onde cada zona apresenta comportamento e manejo específico à sua condição, assim, mostra-se promissora para indicar os locais nos quais as amostragens deveriam ser feitas para uma melhor precisão e baixo custo (Doerge, 1999; Tripathi et al., 2015).

A zona de manejo pode ser conceituada como sendo áreas do terreno de igual produção potencial, eficiência do uso de insumos e risco de impacto ambiental. A definição da zona pode ser feita com diferentes critérios, com o uso de atributos do solo ou parâmetros produtivos das culturas. A distinção de zonas de manejo que possam facilitar a fertilização das áreas, pois a partir delas possa identificar as relações entre os atributos analisados e a sua relação com a produtividade (Lima et al., 2013).

Para determinar zonas de manejo são usadas diversas técnicas, sendo todas de fácil aplicação, possibilitando o uso de diversos fatores agronômicos em conjunto (Doerge, 1999). Essas informações que podem ser dados de produtividade (Diker et al., 2004), amostragem de solo (Santos et al., 2015), imagens (Taylor et al., 2002), sensores de indução eletromagnética e condutividade elétrica aparente (Li et al., 2008), espectrometria gama (Wong et al., 2008), além de SPAD (Soil Plant Analysis Development - clorofilômetro) para gerar zonas de manejo do estado nutricional (Rodrigues Jr. et al., 2011). Além dessas variáveis, a análise química foliar pode ser

utilizado pois é uma ferramenta importante de monitoramento e calibração dos programas de fertilização (Tomio et al., 2015; Cunha et al., 2016).

Uma técnica eficaz para identificar zonas de manejo a partir de diversas informações é o uso de algoritmos de cluster, também conhecida como Análise de agrupamento, pois a classificação multivariada por análise de agrupamento permite a identificação de sub-região nos campos que possuem características internas semelhantes (Ortega & Santibanez, 2007; Davatgar; Neishabouri & Sepaskhah, 2012; Tripathi et al., 2015).

Para a cultura do açaizeiro são escassas informações relativas a nutrição de plantas, existindo ainda uma elevada variabilidade genética das touceiras de açaizeiro dentro das áreas de cultivo, dificultando o manejo da fertilidade (Oliveira, 1995), fato que chama a atenção para o estudo em agricultura de precisão.

Com a definição de zona de manejo é possível identificar a interação das variáveis e qual delas tem maior relação para a diferenciação dos grupos. Neste contexto objetivo foi avaliar a variabilidade espacial dos teores de nutrientes e da produtividade de açaizeiro cultivado fertirrigado em terra firme, bem como utilizar técnicas de análises multivariadas para identificar e propor zonas de manejo.

3.2. MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1. Descrição da área amostral.

A área amostral foi um talhão da fazenda Opatta no município de Tomé-Açu, no nordeste paraense (02°28'43,6" de latitude S e 48°18'16,8" de longitude W) considerada como modelo de uma cooperativa agrícola local. Na área de estudo as plantas apresentavam sete anos após o plantio, cujas mudas foram provenientes de sementes de açaizeiros nativos (semente crioula). A área amostral possui 5,75 ha com uma densidade de 400 touceiras por hectare. O clima predominante na região é o tipo Ami, segundo a classificação de Koppen, com temperatura média de 26,4 °C, com umidade relativa do ar variando entre 71 e 91%, com pluviosidade média acima de 2000 mm.

Também conta com um sistema de irrigação implantado no quinto ano após plantio constando de um sistema de distribuição com micro-aspersores de capacidade para 70 L h⁻¹, foi dimensionado considerando parâmetros empíricos, onde se levou em consideração a evapotranspiração a 5 mm e o coeficiente de cultura (Kc) igual a 1.

O solo foi classificado segundo Embrapa (2013), como Latossolo Amarelo Distrófico, textura média com os atributos determinados conforme Embrapa (2011) (Tabela 1). Os atributos químicos e granulometria da área cultivada com açaizeiro fertirrigado no nordeste do Pará, apresentando os seguintes valores médios: Areia ($652,62 \text{ mg dm}^{-3}$), Silte ($117,16 \text{ mg dm}^{-3}$), Argila ($221,25 \text{ mg dm}^{-3}$), pH (5,6 CaCl₂), M.O. ($20,06 \text{ g kg}^{-1}$), P_(Melich I) ($239,12 \text{ mg dm}^{-3}$), K ($114,65 \text{ mg dm}^{-3}$), Ca ($3,64 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), Mg ($0,87 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), S ($6,38 \text{ mg dm}^{-3}$), B ($0,23 \text{ mg dm}^{-3}$), Cu ($2,43 \text{ mg dm}^{-3}$), Fe ($111,28 \text{ mg dm}^{-3}$), Mn ($29,15 \text{ mg dm}^{-3}$), Zn ($7,8 \text{ mg dm}^{-3}$).

3.2.2. Adubação e amostragem

A adubação da área foi realizada via fertirrigação, e as doses de fertilizantes, replicadas por dois anos, foram: N ($32,10 \text{ kg ha}^{-1}$), P₂O₅ ($32,03 \text{ kg ha}^{-1}$), K₂O ($343,11 \text{ kg ha}^{-1}$), S ($4,88 \text{ kg ha}^{-1}$), Ca ($8,78 \text{ kg ha}^{-1}$), Mg ($10,01 \text{ kg ha}^{-1}$), B ($3,9 \text{ kg ha}^{-1}$) usando as fontes sulfato de potássio solúvel ($20,2 \text{ kg ha}^{-1}$), sulfato de amônio+resíduos de fermentados glutamato ($18,48 \text{ kg ha}^{-1}$); monofosfato de potássio ($61,6 \text{ kg ha}^{-1}$); nitrato de magnésio ($107,8 \text{ kg ha}^{-1}$); nitrato de potássio (77 kg ha^{-1}); nitrato de cálcio ($46,2 \text{ kg ha}^{-1}$); ácido bórico 17% ($23,1 \text{ kg ha}^{-1}$). Na avaliação dos teores de nutrientes e produtividade de plantas de açaizeiro, realizou-se amostragem com 80 pontos de coletas (Figura 1). Para análise foliar (estado nutricional), as amostras foram coletadas em outubro de 2015 a partir das folhas médias de cada açaizeiro da touceira (média de três plantas/touceira), assim formando amostras compostas (a folha média variou entre a 4^a ou 5^a folha), tomando-as como referência de folha diagnóstico da cultura. No material vegetal foi determinado os teores de N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn e B de acordo com metodologia descrita por Malavolta et al. (1997).

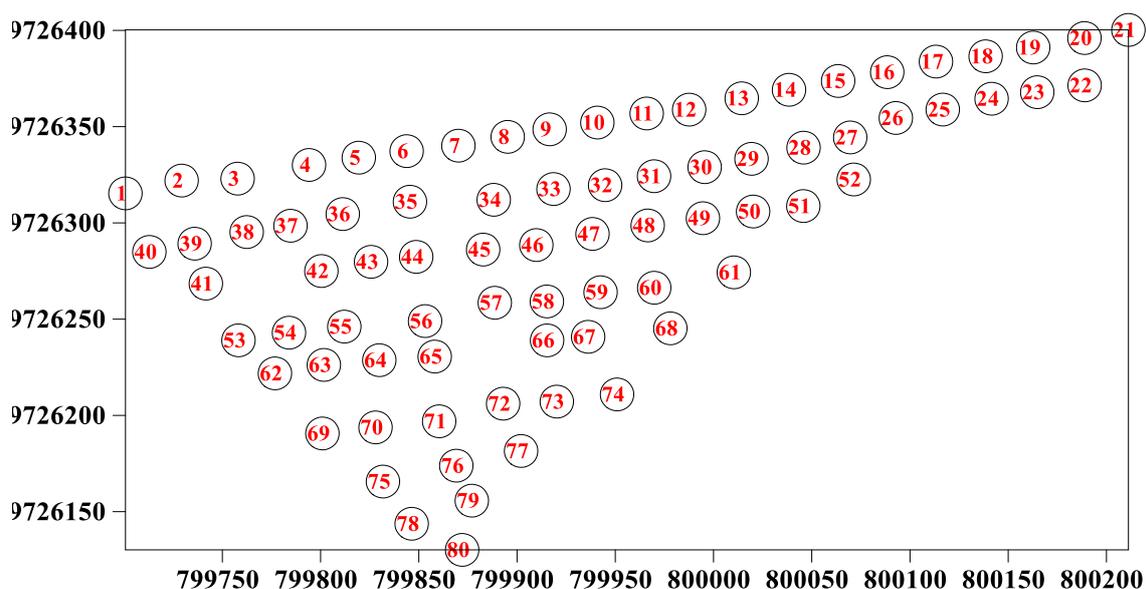


Figura 1. Malha de amostragem do cultivo de açaizeiro fertilizado no nordeste do Pará.

A avaliação da produtividade foi realizada no período de novembro/2015 a janeiro/2016 através de coletas cachos nos pontos. A produtividade foi estimada pela diferença do valor acumulado do peso do cacho cheio e o cacho sem o fruto, e multiplicando-se pelo número de touceiras por hectare. Por avaliar a produtividade em um momento pontual, sendo este uma estimativa, afim de observa o estado nutricional no período considerado como safra. Nesse período pode varia de 70 a 80% da produção acumulada anual uma vez que a produção se distribui 30% em novembro, 30% em dezembro e 25% em janeiro (Homma et al., 2006).

3.2.3. Análise descritiva dos dados.

Os teores de nutrientes foram submetidos à uma análise exploratória para verificar influência das medidas de posição (média e mediana) e dispersão (valores máximos, mínimos, desvio padrão, variância e coeficiente de variação).

3.2.4. Análises multivariada e geostatística.

Foram aplicados dois métodos estatísticos multivariados nos teores de nutrientes: Análise de Componentes principais e análise de agrupamentos não-hierárquica k-means utilizando o software Estatística, versão 10 (Statsoft, 2010).

A análise de componentes principais (ACP) foi realizada com base na diagonalização de sua matriz de correlação simétrica, após análise da variância

populacional. Essa análise foi realizada para identificar novas variáveis que expliquem a maior parte da variabilidade, seguindo a metodologia usada por Silva et al. (2015) e Silva & Lima (2012), onde foram selecionados os valores que apresentaram correlação maior que 0,5. A seleção do número de componentes principais foi baseada no critério de análise da qualidade de aproximação da matriz de correlações, denominado método de Kaiser ou Método da Raiz Latente, utilizando-se os componentes associados a autovalores superiores a 1 (Kaiser, 1958) e na correlação dos componentes com os teores dos nutrientes nas folhas.

A análise foi feita a partir do ajuste de funções teóricas aos modelos de variogramas experimentais, com base na pressuposição de estacionaridade da hipótese intrínseca e conforme a equação:

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

Onde: N(h) é o número de pares experimentais de observações Z(xi), Z(xi+h), separados por um vetor h.

No ajuste dos modelos teóricos aos variogramas experimentais foram testados os modelos esférico, exponencial, gaussiano e linear. Determinaram-se, com o software GS+ (GS+, 2004), os coeficientes efeito pepita (C0), patamar (C0 + C), variância estrutural (C) e alcance (a). O critério para adoção dos modelos foi o maior valor de R2 (coeficiente de determinação), a menor SQR (soma de quadrado dos resíduos) e o maior valor do coeficiente de correlação obtido pelo método de validação cruzada.

O índice de dependência espacial (IDE) foi analisado pela razão $C / (C0 + C)$, seguindo a interpretação proposta Dalchiavon & Carvalho, (2012), sendo: IDE ($\leq 20\%$) indicou variável espacial com muito baixa dependência; $20\% < IDE \leq 40\%$ indicou variável espacial com baixa dependência; $40\% < IDE \leq 60\%$ indicou variável espacial com média dependência; $60\% < IDE \leq 80\%$ indicou variável espacial com alta dependência e de $80\% < IDE \leq 100\%$ indicou variável espacial com muito alta dependência. Comprovada a dependência espacial, utilizou-se o método de interpolação de krigagem ordinária, para estimar valores em locais não medidos, conforme Vieira (2000).

Para a distinção das zonas de manejo foi feita a análise de agrupamento por método não-hierárquico utilizando o algoritmo k-means, por meio de dados de teores de nutrientes e produtividade. Para dividir os valores de cada conjunto de dados nos grupos,

foi usado o número de grupos selecionados dentro da variância da análise de componente principal. As sequências de partições foram produzidas diretamente em um número k (k =número de agrupamento) fixo de grupos, que permitiu caracterizar o padrão das variáveis por grupo considerado (Linden, 2009). O algoritmo k -means permite que as variações dos dados analisados sejam usadas juntas na definição de zonas de manejo possibilitando, ao usuário, controlar o número de zonas identificadas, proporcionando melhor manejo das áreas (Rodrigues Jr et al., 2011). Para a separação dos grupos foi tomada a máxima distância entre os agrupamentos possibilita delimitar zonas de produtividade e seus teores de nutrientes.

A partir do número de classes, o método "k-means" foi usado para determinar cada grupo (Hair Jr. et al., 2009), e posteriormente foram submetidos ao teste SNK para observar a diferença estatística entre os grupos, para cada variável.

3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1. Análise Descritiva dos teores de nutrientes

Os resultados obtidos pela análise estatística descritiva, após a retirada dos dados discrepantes (*outliers*), encontram-se na Tabela 1. Todos os nutrientes apresentaram valores de medidas de tendência central (média e mediana) bem próximos, indicando simetria dos dados. Os maiores desvios foram para os teores de B, Fe e Mn, observando-se a amplitude dos dados em relação à média. Analisando-se o coeficiente de variação (CV) (Tabela 1), observa-se que, segundo a classificação proposta por Warrick & Nielsen (1980), ($CV < 12\%$ - baixos; $12\% < CV < 60\%$ - médios; e $CV > 60\%$ - altos), todos os nutrientes foliares e a produtividade encontram-se no intervalo de 12 a 60%, sendo, portanto, considerados de média variação.

Tabela 1. Estatística descritiva dos teores de nutrientes e produtividade em plantas de açaizeiro no nordeste do Pará.

Folha	Média	Mediana	DP	Mín.	Máx.	CV%
N (g kg⁻¹)	19,5	20	2,25	16	23	11,53
P (g kg⁻¹)	1,75	1,8	0,39	0,88	2,3	22,31
K (g kg⁻¹)	8,5	8,2	1,35	5,6	12	15,9
Ca (g kg⁻¹)	5,6	5,3	1,62	3	9,8	28,1
Mg (g kg⁻¹)	1,11	1	0,38	0,5	2,2	34,01
S (g kg⁻¹)	3,09	3,2	0,53	1,6	3,7	17,1
B (mg kg⁻¹)	50,95	52	10,37	29	72	20,35
Cu (mg kg⁻¹)	5,51	5	2,61	1	12	47,33
Fe (mg kg⁻¹)	366,37	358	89,45	217	647	24,42
Mn (mg kg⁻¹)	250,89	249	116,35	42	557	46,38
Zn (mg kg⁻¹)	24,54	24	4,77	15	42	19,42
Produtividade (t ha⁻¹)	5,2	5,5	2,1	0,48	9,6	40

Md – Mediana; DP- Desvio Padrão; CV – Coeficiente de variação; Max. – máximo; Min. – mínimo.

Os teores médios de macronutrientes (Tabela 1) apresentaram valores situados nas faixas consideradas adequadas de Haag et al. (1992) para plantas de açaizeiro, e também em espécies da família *Arecaeae* com importância econômica como a palma de óleo (Matos et al., 2016) e a pupunheira (Silva & Falcão, 2002). O teor médio de B também apresentou valores adequados dentro da faixa descrita por Araújo et al. (2016), entretanto, as informações sobre faixas de teores adequados de micronutrientes para o açaizeiro ainda são incipientes, principalmente em plantas adultas em fase de produção. Também deve-se levar em consideração o material genético pois, está diretamente ligado ao rendimento e ser causa de variação da produção para além do estado nutricional, visto que os açaizais mais antigos não têm uma uniformidade das progênes sendo oriundas de semente e mudas nativas.

3.3.2. Variabilidade espacial dos teores de nutrientes foliares.

Os teores foliares de P, Mg e Zn apresentaram uma variabilidade espacial a curtas distâncias, pois ajustaram-se ao modelo esférico, com alcance (a) de 63 m, 82 m e 63 m, respectivamente (Tabela 2), ou seja, a maior variação em relação a distancia. Os teores de K, Mn e Fe foram ajustados ao modelo exponencial se estabilizando a uma distância de 77,27 m, 91 m e 126 m, respectivamente. Os teores de N, B, S, Cu e Ca

apresentaram distribuição espacial a longas distancias dentro do espaço amostral, perfazendo o modelo gaussiano, se estabilizando a uma distância de 83 m, 76 m, 90,9 m, 91 m e 102,2 m, respectivamente (Tabela 2). Para a representação da variação da produtividade o melhor modelo foi o gaussiano, com o alcance de 91 m (Tabela 2).

Tabela 2. Parâmetros e modelos dos variogramas ajustados para os teores de nutrientes em plantio açazeiro no nordeste do Pará.

Variáveis	Modelos e parâmetros						
	Modelo	C0	C0+C	a	IDE	R ²	SQR
N	Gaussiano	2,27	6,1	91	62,8	0,633	0,251
P	Esférico	0,031	1,31	63	62,7	0,498	0,00053
K	Exponencial	1,55	4	77,27	61,3	0,5	4,1
Ca	Gaussiano	2,6	13,16	102,2	80,2	4,49	9,96
Mg	Esférico	0,34	1,34	82,3	74,9	5,12	0,0059
S	Gaussiano	0,85	2,88	90,9	70,4	0,759	0,036
B	Gaussiano	9,6	24,48	83,76	60,6	0,582	68
Cu	Gaussiano	6,39	13,66	91	53,3	0,411	2,08
Fe	Exponencial	18,6	78,46	126	76,3	0,913	0,0019
Mn	Exponencial	12,4	43,25	91	71,2	0,482	6,91
Zn	Esférico	18,02	50,77	63	64,5	0,374	82,5
Prod.	Gaussiano	4,28	8,24	91	50	54,5	1,32

C₀ - efeito pepita; C₀+C - patamar; IDE - índice de dependência espacial (C/C₀ + C); a - alcance; R² - coeficiente de determinação do modelo do variograma; SQR- soma do quadrado do resíduo. Prod. – Produtividade (t ha⁻¹).

De acordo com a classificação de Dalchiavon & Carvalho (2012), os teores de N, K, S, B, P, Mg, Zn Mn e Fe tiveram alta dependência espacial. Dentre os nutrientes o IDE foi muito alto para o Ca, assim como o Cu, que apresentou média dependência. A partir da dependência espacial foi possível a obtenção de mapas que definem a variabilidade espacial (Figura 2), indicando que a distribuição dos teores foliares não é aleatória (Chaves & Farias, 2009). De acordo com Bebera et al. (2015) a variação espacial dos teores de nutrientes em palma de óleo poder ser atribuída ao teor intrínseco na folha ou as condições ambientais externas.

Observa-se que a maior parte das touceiras apresentaram teor de N de 18,8 a 19,8 g kg⁻¹ (Figura 2A). Para o teor de P, a maioria das plantas apresentou teores entre 1,4 a 1,8 g kg⁻¹ (Figura 2B). O K, um dos macronutrientes mais importantes para a produção de açazeiro, teve maior parte das touceiras com valores de 7,6 a 8,8 g kg⁻¹

(Figura 2C). Os teores de Ca e Mg variaram de 4,5 a 7,5 g kg⁻¹ e 0,9 a 1,3 g kg⁻¹, respectivamente (Figuras 2D e 2E) e de S variaram de 3 a 3,3 g kg⁻¹ (Figura 2F). Os teores foliares de N e S estão distribuídos de forma mais homogênea na área, pode-se considerar que o fornecimento destes nutrientes foi satisfatório na condição deste estudo. Em relação aos micronutrientes, o B foi o único nutriente fornecido via fertirrigação, e o observado no mapa que o teor desse nutriente predominante na área está na faixa de 47 a 57 mg kg⁻¹ (Figura 2G).

Os demais micronutrientes (Fe, Zn, Cu e Mn) não estão no quadro de reposição nutricional, ou seja, a sua variabilidade espacial pode ser atribuída ao tipo de manejo adotado. O teor foliar reflete as condições de disponibilidade de nutrientes na solução do solo, a sua solubilidade se dá devido a algumas qualidades químicas do solo, pois esses nutrientes estão ausentes no quadro de adubação. Deste modo, observa-se que o teor foliar de Fe foi predominante no intervalo de 300 a 420 mg kg⁻¹ (Figuras 2I), o teor foliar de Zn foi de 22,5 a 26 mg kg⁻¹ (Figura 2L), já para o Cu e Mn os teores estão na faixa de 3,5 a 6 mg kg⁻¹ e 200 a 260 mg kg⁻¹, respectivamente (Figuras 2H e 2J).

A variação espacial da produtividade, pela continuidade espacial a partir das distâncias é possível perceber que a maior proporção da área em estudo apresentou valores entre 4,5 a 6,5 t ha⁻¹ (Figura 2M). Os valores encontrados predominantes nos mapas são representativos da análise descritiva (Tabela 1).

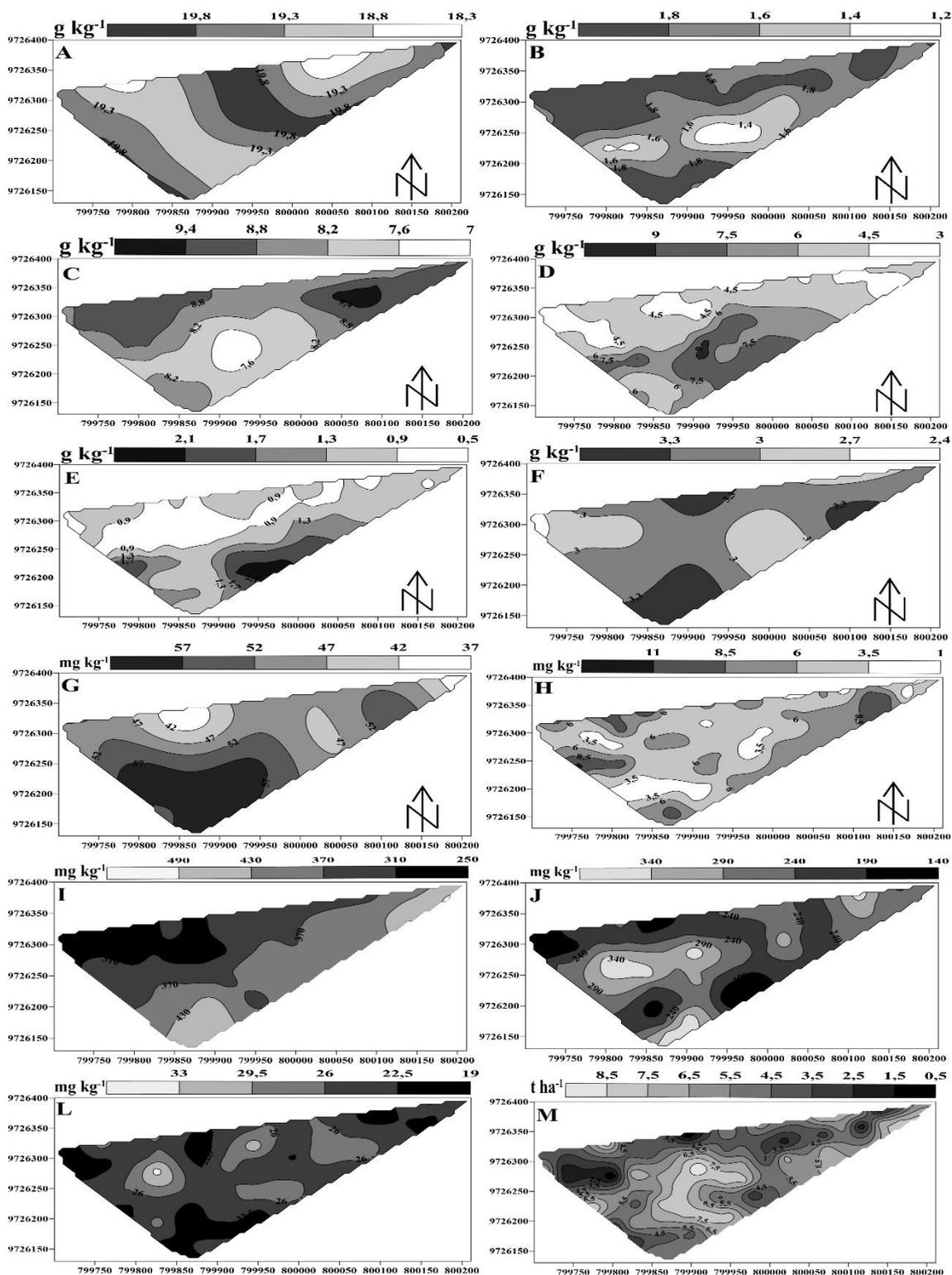


Figura 2. Mapas da distribuição espacial dos teores de N (A), teores de P (B), teores de K (C), teores de Ca (D), teores de Mg (E), teores de S (F), teores de B (G), teores de Cu (H), teores de Fe (I), teores de Mn (J), teores de Zn (L) e produtividade (M) em plantio açazeiro no nordeste do Pará.

A variação espacial da produtividade, pela continuidade espacial a partir das distâncias é possível perceber que a maior proporção da área em estudo apresentou valores entre 4,5 a 6,5 t ha⁻¹ (Figura 2M). Os valores encontrados predominantes nos mapas são representativos da análise descritiva (Tabela 1).

3.3.3. Análise de componentes principais para os teores foliares

As três primeiras componentes principais apresentaram variância acumulada de 51,49% do total, sendo selecionadas para representar a variação da área. As demais componentes não atingiram 10% de variação e foram descartadas de acordo com o critério adotado por Silva & Lima (2012).

Tabela 3. Resumo dos componentes principais da análise multivariada dos teores foliares de nutrientes em plantio açazeiro no nordeste do Pará.

Número de Componentes	Autovalor	Porcentagem da Variância	Porcentagem da Variância Acumulada
1	2,528961	22,99055	22,9906
2	1,836450	16,69500	39,6855
3	1,298742	11,80675	51,4923
4	1,080126	9,81933	61,3116
5	1,012964	9,20877	70,5204

As componentes principais mais importantes são aquelas que se correlacionam com o maior número de variáveis (Mingoti, 2007; Hair Jr. et al., 2009;). A componente principal 1 (CP1) explicou 22,99% da variância dos dados (Tabela 3) e está mais correlacionada aos nutrientes Ca, Mg, K e P (Tabela 4). O Ca e Mg apresentaram correlação positiva em relação a CP1 e o P e o K correlação negativa. Esse padrão sugere inibição competitiva do K em relação ao Ca e Mg (Silva & Trevizan, 2015). A ACP destacou os macronutrientes secundários como mais determinantes ao estado nutricional do açazeiro, em detrimento de N e K. Em função do elevado custo da adubação nas áreas comerciais de plantio de açazeiro é comum a utilização de misturas fertilizantes somente com NPK, sendo omitidos os demais nutrientes como o Ca. Este último é um dos nutrientes mais extraídos pelos frutos de açazeiro em fase de produção (Menezes et al., 2008), justificando sua relevância indicado pela CP1.

Tabela 4. Correlação entre variáveis originais e componentes principais dos teores foliares de nutrientes de açaizeiro.

Atributos	Componentes				
	1	2	3	4	5
N	0,0335	0,4525	0,0677	0,5998	0,5454
P	-0,7385	0,2133	-0,0496	0,0684	-0,1184
K	-0,6607	0,4203	-0,3144	-0,2724	0,0225
Ca	0,8571	0,0595	-0,1045	-0,0725	0,0409
Mg	0,7452	0,0672	-0,4718	-0,0485	0,0987
S	0,1099	0,6485	-0,0312	-0,4944	-0,1917
B	0,3811	0,3590	0,0210	0,2167	-0,6185
Cu	-0,1634	0,5041	-0,4046	0,4259	-0,1788
Fe	0,1879	0,5600	-0,1690	-0,1604	0,2961
Mn	0,1825	0,3580	0,6774	0,2072	-0,2458
Zn	0,0577	0,3951	0,5539	-0,3040	0,3003

Negrito é significativo a 5% de probabilidade.

A CP2 com 16,69% de explicação da variância total apresentou correlação direta com os nutrientes S, Cu e Fe. A CP3 (11,80% de explicação da variância) apresentou correlação direta com o Mn e Zn. Em trabalho na avaliação do estado nutricional cafeeiro, Silva & Lima (2012) encontraram relações entre nutrientes, onde valores de Zn, Mn foram baixos, havia elevada concentração de S, Fe e Cu.

3.3.4. Análise de agrupamento para a distinção das zonas de manejo.

Foram identificadas três zonas de manejo (ZM), com base no estado nutricional do açaizeiro, para caracterizar a variabilidade espacial dos teores de nutrientes na planta (Figura 4). Os maiores valores médios de produtividade são observados na ZM 3 (Tabela 5).

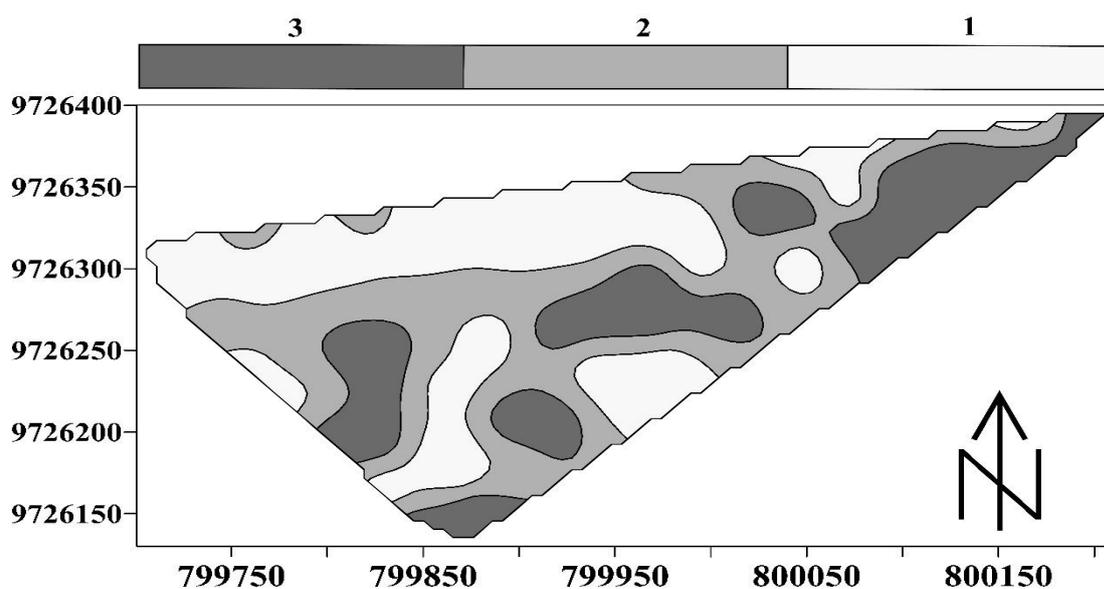


Figura 4. Mapa das zonas de manejo com base no estado nutricional do açazeiro fertirrigado.

Tabela 5. Teores de nutrientes foliares médios nas zonas de manejo em açazeiro fertirrigado no nordeste do Pará.

Zonas	nr	N	P**	K**	Ca**	Mg**	S	B**	Cu	Fe**	Mn	Zn	Produtividade
		----- g kg -----						----- mg kg -----				--- t ha ⁻¹ ---	
1	36	19,22a	1,84a	8,89a	4,70b	0,98b	3,14ab	46,75b	5,77a	361,27b	230,08b	24,30a	4,69b
2	20	19,65a	1,81a	8,57a	5,39b	0,92b	2,88b	50,40b	5,55a	319,25c	299,00a	25,80a	5,41ab
3	24	19,45a	1,53b	7,78b	7,15a	1,46a	3,22a	58,16a	5,08a	401,79a	249,54ab	23,25a	5,80a
Média	-	19,5	1,59	8,7	6,4	1,35	2,65	50,5	6,5	381,5	299,5	28,5	5,04

nr – número de repetições. Valores na coluna são distinguidos por letras diferentes são significativamente diferentes pelo teste SNK para o $P < 0,01$.

O teor foliar de P e K apresentaram menores valores médios na ZM 3, quando comparados com as ZM 1 e 2, que por sua vez não diferiram entre si (Tabela 6). Já o Ca e Mg apresentaram maiores médias na ZM 3, e também não apresentaram diferença entre as ZM 1 e 2. Entre os micronutrientes, o B apresentou maiores valores na ZM 3 em relação as zonas 1 e 2, que não apresentaram diferença entre si. O teor de Fe mostrou diferente entre as três ZM.

A disponibilidade desses nutrientes está diretamente ligada ao manejo da fertirrigação, mas a sua absorção pela planta está ligada ao balanço entre eles, principalmente, os nutrientes Ca e K que devem estar equilibrados em palmeiras (Sousa et al., 2004; Fernandes; Matos & Carvalho, 2013). Em estudos com mudas de açazeiro Sousa et al. (2004) observaram que o menor teor foliar de Ca e K está ligado ao não fornecimento desses nutrientes ou/e a baixa disponibilidade no solo.

Na ZM 3, que apresentou maior produtividade, os nutrientes foram demandados na seguinte ordem decrescente: N>K>Ca>S>P>Mg>Fe>Mn>B>Zn>Cu. Comparando com os resultados encontrados por Araújo et al. (2016), em estudo com a omissão de nutrientes em mudas de açazeiro, cujos nutrientes mais exigidos evidenciados pelos teores e acúmulos na matéria seca das folhas, foram N > K > S > Ca > Mg > P > Mn > Zn > B > Cu, observa-se semelhança. Os nutrientes mais importantes para o desenvolvimento de açazeiro são principalmente N, K, Ca e S, mas deve-se atentar para a relação Ca/K pois esta pode ser a causa das maiores variações e influenciar na absorção de Mg (Sousa et al., 2004; Fernandes; Matos & Carvalho, 2013).

As técnicas de análise multivariada, em associação com a geostatística, facilitaram a identificação da variabilidade espacial, separando em diferentes zonas de manejo, conforme observado por José et al. (2013) para variáveis físico-hídricas de diferentes solos. Com essas informações espaciais que são estáveis e podem também ser previsíveis ao longo do tempo e que estão relacionadas com a produtividade do açazeiro precisam ser categorizadas para delimitar diferentes zonas de manejo. E assim, estudos futuros podem basear-se em fontes de dados espaciais como dados de rendimento de culturas, e melhorar o manejo da adubação.

CONCLUSÕES

Os teores de P, Mg e Zn apresentaram uma variação a curtas distâncias. Todos os teores de nutrientes foliares apresentaram uma dependência espacial de moderado a muito forte, sendo o Ca o elemento que apresentou maior dependência espacial.

Foram encontradas três zonas de manejo, conforme os diferentes níveis nutricionais, demonstrando heterogeneidade nutricional, sendo a zona 3 a que apresentou relação nutricional mais satisfatória, considerando a maior produtividade, com a seguinte ordem de demanda de nutrientes: N>K>Ca>S>P>Mg>Fe>Mn>B>Zn>Cu.

REFERÊNCIA

- ARAÚJO, F. R. R.; VIÉGAS, I. J. M.; CUNHA, R. L. M.; VASCONCELOS, W. L. F. (2016) Nutrient omission effect on growth and nutritional status of assai palm seedlings. *Pesq. Agropec. Trop.*, Goiânia, v. 46, n. 4, p. 374-382.
- BEHERA, S. K.; SURESH, K.; RAMACHANDRUDU, K.; MANORAMA, K.; RAO, B. N. (2015) Mapping spatial variability of leaf nutrient status of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) plantations in India. *Crop & Pasture Science*, <http://dx.doi.org/10.1071/CP15029>
- CHAVES, L. H. G.; FARIAS, C. H. A. (2009) Variabilidade espacial de cobre e manganês em Argissolo sob cultivo de cana-de-açúcar. *Rev. Ciênc. Agron.*, v. 40, n. 2, p. 211-218.
- CUNHA, M. L. P.; AQUINO, L. A.; NOVAIS, R. F.; CLEMENTE, J. M.; AQUINO, P. M.; Oliveira, T. F. (2016). Diagnosis of the Nutritional Status of Garlic Crops. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 40, 26 p.
- DALCHIAVON, F. C. & CARVALHO, M. P. (2012) Correlação linear e espacial dos componentes de produção e produtividade da soja. *Semina Ciências Agrárias*, Londrina, v. 33, n. 2, p. 541-552.
- DAVATGAR, N.; NEISHABOURI, M.R. & SEPASKHAH, A.R. (2012) Delineation of site specific nutrient management zones for a paddy cultivated area based on soil fertility using fuzzy clustering. *Geoderma*, v.173–174, p. 111–11.
- DIKER, K.; HEERMAN, D. F. & BRODAHL, M. K. (2004) Frequency analysis of yield for delineating yield response zones. *Precision Agriculture*, v.5 p.435-444.
- DOERGE, T. (1999) Management zone concepts. SSMG-2. In: Site specific management guidelines. Norcross: Potash and Phosphate Institute, 1999. 4p.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. (2011) Manual de métodos de análises de solos. 2,ed. Rio de Janeiro: Embrapa solos, 230p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (2013) Sistema brasileiro de classificação de solos. 3.ed. rev. ampl. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 353 p.
- FARIAS NETO JT DE, RESENDE MDV DE & OLIVEIRA, M. S. P. (2011) Seleção simultânea em progênies de açaizeiro irrigado para produção e peso do fruto. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 33:532-539.
- FERNANDES, A. R.; MATOS, G. S. B. & CARVALHO, J. G. (2013) Deficiências nutricionais de macronutrientes e sódio em mudas de pupunheira. *Rev. Bras. Frutic.*, Jaboticabal - SP, v. 35, n. 4, p. 1178-1189.
- GS+: Geostatistics for environmental sciences. (2004) 7a ed. Michigan: Gamma Design Software; 2004.

- HAAG, H. P.; SILVA FILHO, N. L. & CARMELO, Q. A. C. (1992) Carência de macronutrientes e de boro em plantas de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.). In: CONGRESSO NACIONAL DE ESSÊNCIAS NATIVAS, 2., 1992, São Paulo. Anais. São Paulo, v. 1. p. 477-479.
- HAIR JÚNIOR, J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM R. L., BLACK W. C. (2009) Análise multivariada de dados. 6ª ed. Porto Alegre: Bookman, p. 688.
- HOMMA, A. K. O.; NOGUEIRA, O. L.; MENEZES, A. J. E. A.; CARVALHO J. E. U. DE, NICOLI C. M. L & MATOS G. B. (2006) Açaí: novos desafios e tendências. *Amazônia: Ciência & Desenvolvimento*, v. 1, p. 7-23.
- IBGE. (2015). Levantamento Sistemático da Produção Agrícola Paraense (LSPA/IBGE). 4 Belém- PA.
- JOSÉ, J. V.; REZENDE, R.; FREITAS, P. S.L.; HONGYU, K.; PERBONI, A.; MARQUES, P. A. A.; DIAS, C. T.S.; COELHO, R. D. (2013) Análise multivariada e geostatística de variáveis físico-hídricas de diferentes solos. *Water Resources and Irrigation Management*, v.2, n.3, p.121-129.
- KAISER, H.F. (1958) The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. *Psychometrika*. v.23, pp.187-200, 1958.
- LI, Y.; SHI, Z.; WU, C.; LI, H.; LI, F. (2008) Determination of potential management zones from soil electrical conductivity, yield and crop data. *Journal of Zhejiang University Science B*, v.9, p.68-76.
- LIMA, J. S. S.; SILVA, S. A.; SILVA, J. M. (2013) Variabilidade espacial de atributos químicos de um latossolo vermelho- amarelo cultivado em plantio direto. *Ciência Agrônômica*, v. 44, n. 1, p. 16-23.
- LINDEN, R. (2009) Técnicas de Agrupamento. *Revista de Sistemas de Informação da FSMA*. n. 4, p. 18-36.
- MALAVOLTA, E. (2006) Manual de nutrição mineral de plantas. Editora agronômica Ceres.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLVEIRA, S. A. (1997) Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 319 p.
- MATOS, G.S.B.; FERNANDES, A.R.; WADT, P.G.S. (2016) Níveis críticos e faixas de suficiência de nutrientes derivados de métodos de avaliação do estado nutricional da palma-de óleo. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.51, n.9, p.1557-1567. DOI: 10.1590/S0100-204X2016000900055.
- MENEZES, E. M.S.; TORRES, A. T. & SABAA SRUR, A. U. (2008) Valor nutricional da polpa de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) liofilizada. *Acta Amaz.* [online], v.38, n.2, p.311-316.

MINGOTI, S. A. (2007). Análise de dados através de métodos de estatística multivariada. Belo Horizonte. Editora UFMG, 1ª reimpressão, 295p.

OLIVEIRA I. A; CAMPOS, M.C. C; MARQUES JUNIOR, J.; AQUINO, R. E.; TEIXEIRA, D.B; SILVA, D. M. P. (2015) Use of Scaled Semivariograms in the Planning Sample of Soil Physical Properties in Southern Amazonas, Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.39, n.1, p.31-39.

OLIVEIRA, M. do S. P. (1995) Avaliação do modo de reprodução e de caracteres quantitativos em 20 acessos de açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart. – *Arecaceae*) em Belém-PA. Recife: UFRPE. 145p. (Tese de Mestrado).

OLIVEIRA, M. S. P.; CARVALHO, J. E. U.; NASCIMENTO, W. M. O.; MÜLLER, C. H. (2002) Cultivo do açaizeiro para produção de frutos. Belém: Embrapa, 2002. 17p. (Circular técnica, 26).

ORTEGA, R. A. & SANTIBANEZ, O. A., (2007). Determination of management zones in corn (*Zea mays* L.) based on soil fertility. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 58, p. 49–59.

RODRIGUES JÚNIOR, F. A.; VIEIRA, L. B.; QUEIROZ, D. M.; SANTOS, N. T. Geração de zonas de manejo para cafeicultura empregando-se sensor SPAD e análise foliar. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, p.778- 787, 2011.

SANTANA, A.C.; CAMPOS, P.S.S.; RAMOS, T.J.N.; GALATE, R.S.; MOTA, A.V. (2011) O mercado de frutas no estado do Pará: 1985 a 2005. *Revista de Estudos Sociais*, v. 13, n. 1, p. 174-185.

SANTOS, E. O. J.; PINTO, F. B.; BARBOSA, M. A.; GONTIJO, I. (2015) Delineamento de zonas de manejo para macronutrientes em lavoura de café Conilon consorciada com seringueira. *Coffee Science*, Lavras, v. 10, n. 3, p. 309 – 319.

SILVA A. S., LIMA J. S. S., XAVIER A. C. & TEIXEIRA M. M. (2010). Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo vermelho-amarelo húmico cultivado com café. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34, p. 15-22.

SILVA, E. N. S.; MONTANARI, R.; PANOSSO, A. R.; CORREA, A. R.; TOMAZ, P. K.; FERRAUDO, A. S. (2015) Variabilidade de atributos físicos e químicos do solo e produção de feijoeiro cultivado em sistema de cultivo mínimo com irrigação. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 39, p. 598-607.

SILVA, J. R. A. & FALCÃO, N. P. S. (2002) Caracterização de sintomas de carências nutricionais em mudas de pupunheira cultivada em solução nutritiva. *Acta Amazônica*, Manaus, v. 32, n. 4, p. 529-539.

SILVA, M. L. S. & TREVISAN, A. R. (2015) Interações iônicas e seus efeitos na nutrição de plantas. Piracicaba: IPNI (Informações Agrônomicas, 49).

- SILVA, S. A. & LIMA, J. S. S. (2012) Avaliação da variabilidade do estado nutricional e produtividade de café por meio da análise de componentes principais e geoestatística. *Rev. Ceres, Viçosa*, v. 59, n.2, p. 271-277.
- SOUSA, H. U.; RAMOS, J. D.; CARVALHO, J. G.; FERREIRA, E. A. (2004) Nutrição de mudas de açaizeiro sob relações cálcio:potássio:sódio em solução nutritiva. *Ciênc. agrotec., Lavras*, v. 28, n. 1, p. 56-62.
- SOUZA, A. M. (2000) Monitoração e ajuste de realimentação em processos produtivos multivariados. Tese (Doutorado Engenharia de Produção) – Universidade Federal Santa Catarina, 2000.
- STATSOFT. (2010) *Statistica (data analysis software system)*. Version 10. Disponível em: <<http://www.statsoft.com>>. Acesso em: 10 jan. 2017.
- TAYLOR, J. A.; MCBRATNEY, A. B.; CIAVARELLA, R. (2002) Predicting and mapping winegrape quality from multiple must properties. In: ROBERT, P. C.; RUST, R. H.; LARSON, W. E. *Proceedings of the 6th International Conference on Precision Agriculture*. Minneapolis: ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI. p.614- 623.
- TOMIO, D. B.; UTUMI, M. M.; PEREZ, D. V.; DIAS, J. R. M.; WADT, P. G. S. (2015) Antecipação da diagnose foliar em arroz de sequeiro. *Pesq Agropec Bras.*, v. 50, p. 250-8. doi:10.1590/S0100-204X2015000300009.
- TRIPATHI, R.; NAYAKA, K.; SHAHID, M.; LAL, B.; GAUTAM, P.; RAJA, R.; MOHANTY, S.; KUMAR, A.; PANDA, B.B.; SAHOO, R.N. (2015). Delineation of soil management zones for a rice cultivated area in eastern India using fuzzy clustering. *Catena*, v. 133, p. 128–136. DOI:10.1016/j. Catena.2015.05.009.
- VIÉGAS, I. J. M. & BOTELHO, S. M. (2000). Nutrição e adubação do dendezeiro. In: *A cultura do dendezeiro na Amazônia brasileira*, eds. VIÉGAS, I. J. M., & A. A. MÜLLER, p. 229-273, Belém: Embrapa Amazônia Oriental.
- VIEIRA, S. R. (2000) Geoestatística em estudos de variabilidade especial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVARES, V. V. H.; SCHAEFFER, C. E. G. R. (eds.) *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 1-54.
- WARRICK, A. W. & NIELSEN, D. R. (1980). Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). *Applications of soil physics*. New York: Academic Press, 344p.
- WONG, M. T. F.; ASSENG, S.; ROBERTSON, M. J.; OLIVER, Y. (2008) Mapping subsoil acidity and shallow soil across a field with information from yield maps, geophysical sensing and the grower. *Precision Agriculture*, v.9, p.3-15.
- YAMAGUCHI, K.K.L.; PEREIRA, L.F.R.; LAMARÃO, C.V.; LIMA, E.S.; VEIGA-JUNIOR, V.F. (2015) Amazon acai: Chemistry and biological activities: A review. *Food Chemistry*, v. 179, p. 137–151.