

# VARIABILIDADE ESPACIAL DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E PROPOSIÇÃO DE MANEJO SUSTENTÁVEL PARA AGRICULTURA FAMILIAR, COMUNIDADE DE CARIAMBÁ, BRAGANÇA, PARÁ

## SPATIAL VARIABILITY OF THE CHEMICAL ATTRIBUTES OF THE SOIL AND PROPOSITION OF SUSTAINABLE MANAGEMENT FOR FAMILY FARMING, COMMUNITY OF CARIAMBÁ, BRAGANÇA, PARÁ

Luiz Antonio Soares Cardoso <sup>1</sup>João Tavares Nascimento <sup>2</sup>

Data de entrega dos originais à redação em: 131/01/2019  
e recebido para diagramação em: 25/10/2019

O conhecimento das concentrações químicas dos nutrientes no solo é de fundamental importância para qualquer tipo de cultura, por se tratar de um fator primordial para a caracterização da fertilidade do solo e determinante na produtividade. Contudo, a avaliação dessas características, mesmo em áreas homogêneas, apresenta variação espacial, mesmo a curtas distâncias, o que pode influenciar na produtividade das culturas. Fundamentada neste princípio, a geoestatística assume grande relevância, possibilitando determinar a variabilidade espacial de características do solo, o que é fundamental para o entendimento de suas inter-relações. Este trabalho teve como objetivo analisar a variabilidade espacial da fertilidade do solo em um empreendimento de agricultura familiar localizado na comunidade de Cariambá, Bragança-PA, e posterior recomendação de adubação sustentável para o solo da comunidade. Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva, teste de normalidade, análise e verificação de semivariogramas e a krigagem ordinária dos dados, possibilitando assim a confecção dos mapas que orientaram as proposições de adubação sustentável na área de pesquisa. Os atributos químicos consideradas foram o Fósforo (P), Alumínio (Al), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), pH (em H<sub>2</sub>O), Matéria Orgânica (M.O.) e a Saturação por Base (%). As análises permitiram o conhecimento dos respectivos níveis disponíveis no solo para cada atributo, possibilitando a realização de suas interpretações e classificação, considerando as classes de fertilidade (muito baixa, baixa, média, alta e muito alta). Os resultados mostraram que os atributos químicos apresentam uma organização espacial heterogênea, apresentando uma variabilidade espacial moderada e dependência espacial forte, com exceção do atributo Magnésio (Mg), que apresentou dependência espacial moderada. Os semivariogramas mostraram-se eficientes em agrupar variáveis correlacionadas entre si. Os mapas dos atributos da fertilidade do solo apresentaram manchas em locais semelhantes entre os atributos pH (em água), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Saturação por Bases (V%). Os mapas de krigagem permitiram estabelecer, por meio dos atributos de fertilidade, o nível da fertilidade do solo, considerados como de baixa qualidade. Por fim, observou-se que uso de técnicas de agricultura de precisão, como a proposta no trabalho, por meio da confecção dos mapas de krigagem, demonstrando a variabilidade espacial de cada um dos atributos de fertilidade considerados na pesquisa, pode ser sim utilizada para otimizar o planejamento agrícola e melhoraria na tomada decisão, possibilitando a organização de práticas adequadas que visem um manejo preciso dos solos na comunidade.

Palavras-chave: Geoestatística. Adubação Sustentável. Manejo do Solo.

*The knowledge of chemical concentrations of the nutrients in the soil is fundamentally important to any kind of culture, being a factor of primordial importance for the fertility characterization of the soil and being determinant in its productivity. Yet, the evaluation of these characteristics, even in homogeneous areas, presents spatial variability, even at short distances, which can influence in the productivity of the culture. Substantiated in this principle, the geostatistics assume big relevance, making possible determinate the space variability of the soil characteristics, which is fundamental to the understanding of its interrelationships. This work had the objective to analyze the space variability of the fertility of the soil in a family farming venture localized in the community of Carimbá, Bragança-PA, and the posterior recommendation of the community sustainable soil fertilization. The data was submitted to statistic descriptive analysis, normality test, analysis of semivariograms and the ordinary krigagem of the data, by that, making possible the confection of the maps that teach the propositions of sustainable fertilization in the research area. The chemical attributes considered in the research were Phosphorus (P), Aluminum (Al), Potassium (K), Calcium (Ca), Magnesium (Mg), pH (in H<sub>2</sub>O), Organic Matter (O.G) and the saturation by Base (%). The analysis allowed the knowledge of the respective levels available in the soil for each attribute, making possible the realization of its interpretation and classification, by considering the fertility classes (very low, low, average, high and very high). The results showed that the chemical attributes presented a heterogeneous space organization, presenting a moderate space variability and a strong space dependency, with exception of the Magnesium (Mg) attribute, which presented moderate space dependency. The semivariograms showed to be efficient in group variables correlated between themselves. The maps of the soil fertility attributes presented stains in similar places between the attributes pH (in water), Calcium (Ca), Magnesium (Mg) and Saturation by Bases (V%). The maps of krigagem allowed to establish, by the means of the fertility attributes, the level of fertility of the soil, considered as of low quality. Lastly, it was observed that the use precision farming techniques, as working proposals, with the confection of krigagem maps, demonstrating the space variability of each one of the fertility attributes considered in the research, it can be utilized to optimize the agricultural planning and improve the decision making, making possible the organization of appropriate practices that aim a precise management of the soils in the community.*

*Keywords: Geostatistic. Sustainable Soil Fertilization. Management of The Soil.*

1 - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará – Campus Castanhal – Programa de Mestrado em Desenvolvimento Rural e Gestão de Empreendimentos Agroalimentares. < luizcardoso.geologo@gmail.com >.

2 - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará – Campus Castanhal – Programa de Mestrado em Desenvolvimento Rural e Gestão de Empreendimentos Agroalimentares.

## 1 INTRODUÇÃO

Com o passar dos anos, o ser humano vem, gradativamente, aperfeiçoando as técnicas como forma de otimizar os processos, fazendo com que os resultados sejam ainda mais precisos. Isso não ocorre de forma diferente no que tange à caracterização prévia dos nutrientes do solo, que obrigatoriamente deveria anteceder o momento da implantação de determinada cultura, evitando assim, gastos desnecessariamente excessivos com corretivos do solo por parte do produtor.

A fertilidade do solo é parte da ciência do solo que estuda a capacidade em suprir (ter e fornecer) nutrientes às plantas. Ela estuda quais os elementos essenciais, como, quando e quanto eles podem interagir com o vegetal; o que limita sua disponibilidade e como corrigir deficiências e excessos. Cada nutriente é estudado profundamente para entender melhor as transformações, a mobilidade e a “disponibilidade” de cada um às plantas (RIBEIRO, 2015).

A análise química do solo é o processo mais indicado e utilizado para determinar o estado nutricional da área a ser plantada. No entanto, muitos agricultores negligenciam essa parte, o que acarreta baixos índices de produtividade e rentabilidade. (NASCIMENTO & SALAME, 2016).

Normalmente, a variabilidade do solo é expressa em pequenas escalas, refletindo, assim, no modo de tratamento da área em questão, que será projetada, conseqüentemente, sob uma menor precisão. Devido essa pequena escala, as áreas em questão normalmente são planejadas sem ser levado em consideração suas especificidades, logo a aplicação de corretivos do solo ocorrerá de maneira uniforme em toda extensão da propriedade, o que pode representar um gasto desnecessário pelo produtor e ocasionar consideráveis impactos ambientais na região (SPAROVEK & SCHUNG, 2001).

O conhecimento da variação espacial de atributos do solo pode contribuir para o planejamento e a otimização na condução de experimentos, objetivando a agricultura de precisão (CAMPOS *et. al.*, 2008).

Como as características do solo têm influência direta na produtividade, o padrão espacial pode modificar de acordo com a variação nas propriedades do solo. Portanto, determinar as características dos solos que compõem a propriedade, pode auxiliar no seu gerenciamento mais eficaz (MZUKU *et. al.*, 2005).

A variabilidade do solo é consequência de complexas interações dos fatores e processos de sua formação. Além dos fatores e processos, práticas de manejo do solo e da cultura são causas adicionais de variabilidade. Áreas pedologicamente idênticas podem apresentar variabilidade distinta em atributos, quando submetidas às diferentes práticas de manejo. Da mesma forma, áreas pedologicamente diferentes, quando submetidas ao mesmo manejo, podem apresentar-se semelhantes em seus atributos (CORÁ, 1997).

A falta de conhecimento do solo local pode levar muitas vezes o produtor ao uso excessivo e desnecessário de produtos químicos, ocasionando graves problemas ambientais, gerando consigo concentrações anômalas de resíduos sólidos prejudiciais. A geoestatística é uma ferramenta promissora para

essas necessidades, atuando por meio de técnicas estatísticas para o monitoramento através de projetos de amostragem mais eficientes e uma análise de dados mais precisa (FLATMAN & YFANTIS, 1984).

O uso da geoestatística permite identificar, em uma área geralmente tratada como homogênea, características e necessidades que requerem manejos diferenciados. Esse conhecimento permite estimar as respostas dos atributos do solo às práticas de manejo utilizadas, bem como reduzir os efeitos da variabilidade do solo na produtividade agrícola (RIBEIRO *et. al.*, 2016).

A Comunidade de Cariambá, localidade onde foi realizada a pesquisa, encontra-se no contexto geológico da transição do Grupo Barreiras e da Suíte Intrusiva Tracauateua (VASQUEZ & ROSA-COSTA, 2008). Segundo dados de Santos *et. al.* (2011), a mesma é composta por latossolos amarelos distróficos, tipos de solos que normalmente necessitam de um determinado nível de investimento para que as culturas nele implantadas apresentem bons resultados.

Segundo Cravo *et. al.* (2016), esta classe de solo ocorre em áreas com relevo plano a suave ondulado, o que facilita os trabalhos de mecanização, apresentando textura média a argilosa, são profundos a muito profundos (>2 m), bem moderadamente drenados, bastante porosos e permeáveis. Porém, são solos destituídos de minerais primários facilmente intemperizáveis. Por essas características, esses solos geralmente apresentam-se, em seu estado natural, com baixa fertilidade e normalmente ácidos, havendo necessidade de correção da acidez e melhoria da fertilidade para que culturas como a mandioca possam expressar seu potencial produtivo.

Diante do relatado, surgem alguns questionamentos: Qual a variabilidade espacial dos atributos químicos presentes no solo da comunidade? Os instrumentos de geoestatísticas são realmente viáveis e possíveis de serem utilizados pelo pequeno produtor na comunidade? O conhecimento da variabilidade dos atributos químicos presentes no solo pode contribuir para um manejo mais adequado e sustentável dos solos na comunidade?

Para solucionar este problema, o trabalho em questão teve como objetivo analisar a variabilidade espacial da fertilidade do solo em um empreendimento de agricultura familiar localizado na comunidade de Cariambá, Bragança-PA, e posterior recomendação de adubação sustentável para o solo da comunidade.

A ausência de trabalhos mais precisos relacionados a análise da fertilidade do solo da comunidade e a falta de diagnóstico da sua variabilidade, justificou a necessidade do trabalho na região, no sentido de otimizar o uso racional de corretivos do solo, como meio de aumento da produtividade e renda para o pequeno produtor, assim como diminuição dos impactos que possam ser causados pelo uso indiscriminado de fertilizantes, causando muitas vezes desequilíbrio na relação dos nutrientes presentes no solo.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Localização da área de pesquisa

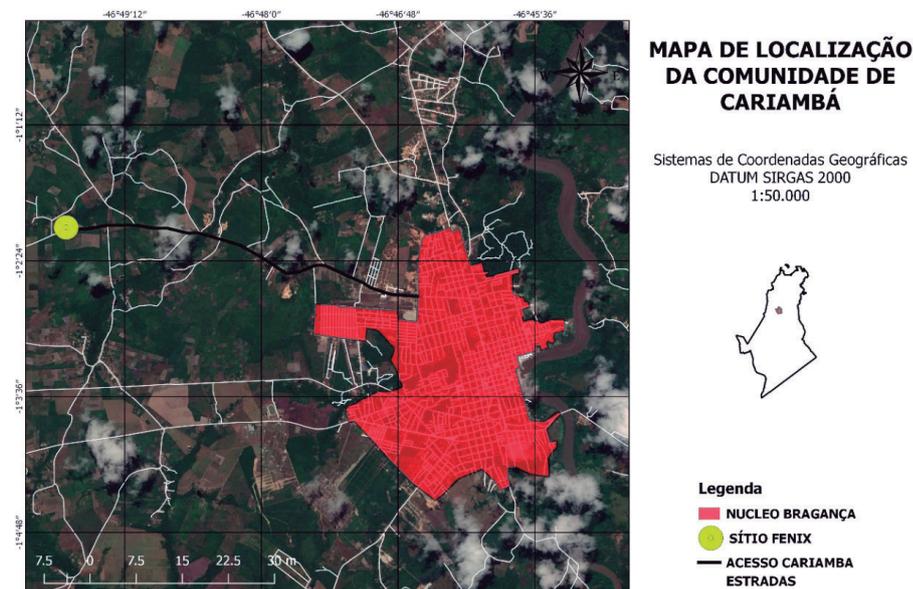
A pesquisa em questão foi desenvolvida em uma área de aproximadamente 3 hectares, localizada no Sítio

Fênix, propriedade de agricultura familiar, situada na Comunidade de Cariambá, município de Bragança-PA.

O município de Bragança pertence a mesorregião Nordeste Paraense e à microrregião Bragantina. A sede municipal está sob as coordenadas 01°03'15" de latitude Sul e 46°46'10" de longitude Oeste. Possui limites ao Norte com o Oceano Atlântico, ao Sul com os municípios de Santa Luzia do Pará e Viseu, à Leste com os municípios de Augusto Corrêa e Viseu e à Oeste com o município de Tracuateua (BITTENCOURT *et al.*, 2014).

A Comunidade de Cariambá localiza-se na porção oeste do município de Bragança, iniciando-se a cerca de 6km do centro urbano da cidade e fazendo fronteira com a cidade de Tracuateua-PA (figura 1). O acesso principal à Comunidade se dá pela Rua Santos Drummond, via que também dá acesso ao aeroporto da cidade, contando atualmente com cerca de 100 famílias.

Figura 1 - Mapa de localização da comunidade de Cariambá-PA enfatizando o Sítio Fênix



Fonte: Autor

O Sítio Fênix, por sua vez, localiza-se a cerca de 6,5 km da sede do município de Bragança-PA nas margens do Ramal Santa Teresa. Sua sede encontra-se sob as coordenadas 0296527 Leste e 9885532 Norte, Fuso 23M.

## 2.2 Levantamentos dos dados

Na área foi instalada uma grade regular de 50 pontos, no intuito de se abranger a maior área possível. Em cada ponto foram coletadas amostras compostas de solo na profundidade de 0-20 cm.

As amostras foram coletadas, em conjunto com os moradores da comunidade, de acordo com recomendação da

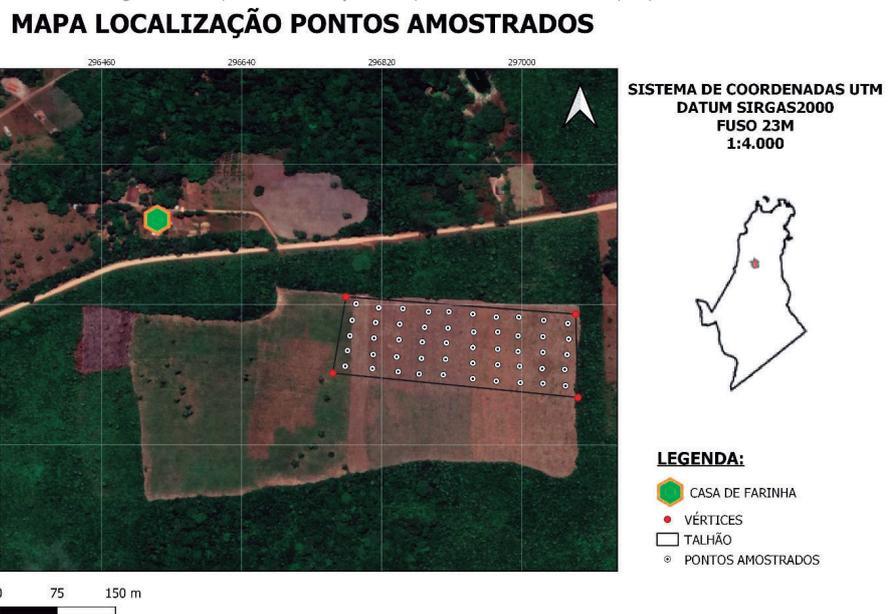
Embrapa (2017) e com utilização de trado do tipo holandês. Em cada ponto amostrado, foram coletadas cinco sub-amostras de material de solo, uma no ponto central e as outras quatro em um raio de 7,5 m nas diagonais do ponto central, na intenção de compor uma amostra composta que representem os pontos amostrados.

No momento da coleta de solo também foram realizadas coletas de informações referentes a posição espacial de cada ponto amostrado, bem como dos vértices do talhão, com auxílio de um receptor de *Global Positioning System* (GPS), modelo Garmin *eTrex30*, configurado no Sistema de Projeção UTM (*Universal Transversa de Mercator*), que nos permitiu coletar valores métricos, através das Coordenadas E e Coordenadas N, e nos possibilitou a realização do georreferenciamento desses pontos. Esse procedimento é essencial para o detalhamento da variabilidade espacial dos atributos estudados, pois

o mesmo só será possível a partir do conhecimento da posição espacial dos pontos amostrados.

As amostras de solo foram acondicionadas em sacos plásticos devidamente identificados, secas ao ar ambiente e protegidas de possíveis contaminações, até atingirem peso constante. Após este procedimento, foram enviadas e analisadas no laboratório da empresa Terra Análises para Agropecuária Ltda, em Goiânia-GO, onde foram determinados valores de Fósforo (P), Alumínio (Al), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), pH (em H<sub>2</sub>O), Matéria Orgânica (M.O.) e a Saturação por Base (%) na área de estudo.

Figura 2 - Mapa de localização dos pontos amostrados na propriedade familiar Sítio Fênix



Fonte: Autor

### 2.3 Análise exploratória dos dados

Posteriormente foram realizadas as tabulações dos dados oriundos da análise química do solo, variável por variável, com o auxílio do *software* de planilha eletrônica Microsoft Excel, levando sempre em consideração as suas respectivas posições geográficas.

O comportamento de cada variável considerada, foi analisado por meio de testes estatísticos realizados no *software* MINITAB 14, o que permitiu a confecção e análise de histogramas de distribuição dos dados, onde foi possível a verificação da normalidade dos mesmos através do teste de normalidade denominado Kolmogorov-Smirnov (K-S) a 95% de probabilidade. Para isso foram consideradas duas hipóteses:  $H_0$  (hipótese nula) que considera a distribuição normal dos dados amostrados e  $H_a$  (hipótese alternativa) que leva em conta que os dados não seguem uma distribuição normal.

Para a tomada de decisão entre uma hipótese ou outra, considerou-se os valores de P-Value, individualmente, para cada variável de solo considerada. Para tanto, os dados com P-Value acima de 5% (0,05), foram considerados como dados com distribuição normal, ou seja, aceitaram  $H_0$ , já aqueles com valores abaixo, não seguem distribuição normal, assim rejeitando  $H_0$ . Segue abaixo os valores de P-Value de cada variável.

A partir dos parâmetros relatados acima, foi possível a confecção de gráficos de normalidade e histogramas para cada variável.

Como pode-se observar, a única variável química do solo que rejeitou  $H_0$  foi o Fósforo (P), portanto a distribuição da referida variável não é normal, contudo, cabe ressaltar, que a normalidade dos dados não é uma exigência da geoestatística. Para atributos do solo, a mesma tendência à não normalidade para o Fósforo (P), foi relatado em trabalhos desenvolvidos por outros autores como Pita (2012) e Aquino *et al.* (2014).

Na estatística clássica, considera-se que os valores do coeficiente de variação (CV%), influenciam diretamente no grau de precisão do experimento. De acordo com Ferreira (1991), coeficientes de variação baixos são aqueles até 15%, os médios aqueles entre o intervalo de 15 a 20%, os altos aqueles que variam de 20 a 30% e os muito altos aqueles acima de 30%.

Ainda segundo o mesmo autor, coeficientes de variação baixos são sinônimos de experimentos com ótima precisão, e quanto maior o valor desse parâmetro, menor a precisão experimental.

Sendo assim, através da análise dos valores de CV% na tabela 4, foi possível perceber que os atributos Fósforo (P), Alumínio (Al), Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg) possuem valores muito altos, e conseqüentemente possuem baixa precisão experimental, provavelmente devido a presença de valores discrepantes, os *outliers* (PITA, 2012).

No caso do Fósforo (P), valores muito altos de CV% podem ser explicados pela grande variação dos teores desse nutriente na área amostrada e também pela sua baixa mobilidade no solo (MACHADO *et al.*, 2007; DALCHIAVON *et al.*, 2017). Já em relação aos valores muito altos de CV% para os atributos Alumínio (Al), Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg), o mesmo pode ser explicado pela aplicação de calcário dolomítico na porção vizinha à área de estudo, o que pode ter influenciado diretamente na variação nos valores dos nutrientes, devido a dispersão do material até a área de estudo.

Para os atributos Potássio (K), Matéria Orgânica (M.O.) e Saturação por Base (V%), os valores de CV% foram considerados altos, representando uma precisão regular. Por último destaca-se o pH (em água), onde foi possível perceber valor baixo de CV%, indicando ótima precisão.

A assimetria e a curtose foram utilizadas para estudar a forma da distribuição de probabilidade das variáveis (PITA, 2012). Os teores pH (em água) e Saturação por Base (V%) apresentaram assimetria negativa, conseqüentemente tiveram seus dados levemente concentrados à direita, já nos casos do Alumínio (Al), Potássio (K) e Matéria Orgânica (M.O.), a assimetria é positiva, indicando maior acúmulo dos dados à esquerda, apresentando leve assimetria. Para os atributos Fósforo (P), Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg) apresentaram coeficientes de assimetria 1,798, 1,108 e 1,300, o que representa uma leve distribuição assimétrica.

Tabela 1 - Resultado dos testes de normalidade para cada variável considerada

VARIÁVEL	P-VALUE	$H_0$	TESTE K-S
Fósforo (P)	0,036	Rejeitada	Não Normal
Alumínio (Al)	>0,150	Aceita	Normal
Potássio (K)	>0,150	Aceita	Normal
Cálcio (Ca)	>0,150	Aceita	Normal
Magnésio (Mg)	>0,150	Aceita	Normal
Ph (em água)	>0,150	Aceita	Normal
Matéria Orgânica	>0,150	Aceita	Normal
Saturação por Base (V%)	>0,150	Aceita	Normal

Fonte: Autor

Tabela 2 - Estatística descritiva das variáveis químicas do solo em profundidade de 0-20 cm

VARIÁVEIS	MÉDIA	VARIÂNCIA	MEDIANA	DESVIO PADRÃO	CURTOSE	ASSIMETRIA	MÍN.	MÁX.	CV (%)
P <sub>mg/dm³</sub>	2,208	1,774	2,0	1,332	3,434	1,798	1,0	7,0	60,332
Al <sub>cmolc/dm³</sub>	0,348	0,044	0,3	0,211	-0,483	0,496	0,0	0,9	60,677
K <sub>mg/dm³</sub>	41,9	87,438	40,0	9,350	0,058	0,699	24,0	64,0	22,317
Ca <sub>cmolc/dm³</sub>	1,134	0,208	1,1	0,456	4,616	1,108	0,3	3,0	40,257
Mg <sub>cmolc/dm³</sub>	0,436	0,034	0,4	0,184	4,745	1,300	0,1	1,2	42,408
pH <sub>(em água)</sub>	4,974	0,019	5,0	0,138	0,120	-0,668	4,6	5,2	2,778
M.O. <sub>(g/kg)</sub>	18,920	20,564	16,0	4,534	-1,003	0,237	12,0	27,0	23,968
V (%)	29,140	49,755	29,5	7,053	0,435	-0,310	13,0	47,0	24,206

Fonte: Autor

Mesmo com a percepção de distribuições assimétricas, os valores da média e mediana de todos os atributos químicos analisados são bastante próximos, demonstrando não apresentarem assimetria acentuada.

Em relação à curtose, os atributos Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Ph (em água) e Saturação por Base (V%) apresentaram distribuição mais alta. Em contrapartida, os valores de Alumínio (Al) e Matéria Orgânica (M.O.) apresentam uma distribuição mais "achatada".

## 2.4 Análise geoestatística

A geoestatística foi utilizada com a finalidade de se definir o possível modelo de variabilidade espacial dos atributos químicos dos solos presentes no local da pesquisa, por meio dos semivariogramas. Para cada variável foram realizados os cálculos das semivariâncias e a sua representação através dos semivariogramas, que, por sua vez, foram demonstrados por meio de gráficos de semivariância (y) em função da distância (h), com o auxílio de *software* GS+.

Ao todo foram construídos 8 (oito) semivariogramas, 1 (um) para cada variável considerada. O modelo de semivariograma que mais se ajustou a predominância de distribuição espacial foi o Gaussiano, presente em 7 (sete) deles. Porém, para a variável Magnésio (Mg), o modelo que mais se ajustou foi o Exponencial.

O efeito pepita (Co) variou de 0,0001 a 29,40, enquanto o patamar (Co + C) de 0,0534 a 269,70. Em relação a dependência espacial (IDE), a mesma variou 0,787 a 1,0, predominando valores acima de 0,9. Os valores caracterizaram uma dependência espacial forte, com exceção do magnésio (Mg), que apresentou dependência espacial moderada, por apresentar valores de IDE abaixo de 0,8.

O alcance (A) variou de 41,396 a 1017,4066 metros, com um valor médio de 512,6072. O coeficiente de determinação ( $r^2$ ) apresentou valores próximos a 0,9 na maioria dos atributos químicos, o que demonstra um bom ajuste dos modelos. Por outro lado, a validação cruzada foi satisfatória nos casos em que o coeficiente de determinação não foi tão elevado, caso do potássio (K) e magnésio (Mg), onde o coeficiente angular foi próximo de 0,9.

Neste estudo, os semivariogramas foram consideradas eficientes em agrupar variáveis correlacionadas entre si, mostrando a dependência espacial entre os atributos estudados, podendo-se inferir que a realização da amostragem ao acaso, pode implicar em possíveis erros e alterar os resultados de pesquisas, configurando que a variabilidade dos atributos diagnosticada na área de estudo, deve ser considerada no planejamento agrícola local, o que visa orientar adequada tomada de decisão.

Por fim, após o ajuste teórico de semivariograma no *software* geoestatístico GS+, foram realizadas interpolações estimadas através do método de *Krigagem* também com o auxílio do *software* GS+.

A partir dos resultados provenientes do método da *Krigagem*, foram gerados mapas que demonstraram a variabilidade espacial dos atributos químicos do solo, assim como mapas para demonstração da disposição das curvas de níveis da área e o modelo de elevação do terreno, com o auxílio do *software* Surfer 8, como forma de justificar a dispersão de determinados atributos interpretados como influenciados diretamente pela topografia do terreno.

Através dos mapas temáticos foi possível se observar a variabilidade espacial dos atributos químicos dos solos presentes na área de estudo, permitindo assim efetuar uma recomendação de adubação.

As variáveis consideradas foram Fósforo (P), Alumínio (Al), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), pH (em água), Matéria Orgânica (M.O.) e Saturação por Base (V%).

Os valores para cada atributo químico serão classificados em muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto de acordo com os parâmetros adotados por Raij *et. al.* (1996) e Cravo *et. al.* (2016).

Tabela 3 - Classes de fertilidade do solo para cada elemento essencial que serão utilizados como parâmetros para se determinar a fertilidade do solo dependente da cultura a ser inserida

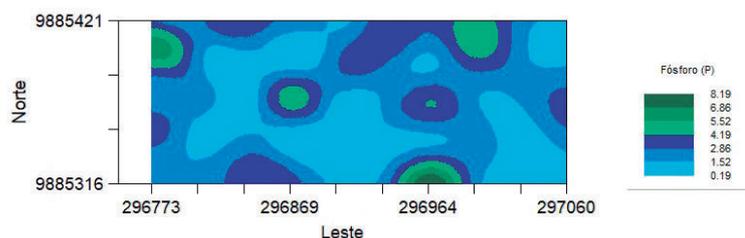
Classes de Fertilidade do Solo	P	Al	K	Ca	Mg	pH	V%	M.O.
Muito Baixo	-	-	-	-	-	Até - 4,3	0 - 25	-
Baixo	< 10	< 0,3	≤ 40	≤ 2,0	≤ 0,5	4,4 - 5,0	26 - 50	< 15
Médio	11 - 18	-	41 - 60	2,1 - 4,5	0,6 - 1,5	5,1 - 5,5	51 - 70	15 - 25
Alto	19 - 25	> 0,3	61 - 90	> 4,5	> 1,5	5,6 - 6,0	71 - 90	> 25
Muito Alto	> 25	-	> 90	-	-	> 6,0	> 90	-

Fonte: Autor

Os valores de concentração do Fósforo (P) em toda a área estudada variaram de 1,0 a 7,0 mg dm<sup>-3</sup>, cuja faixa de variação desse elemento se encontra enquadrada na classificação baixa, ou seja, inferior a 10,0 mg dm<sup>-3</sup>, com distribuição em toda a área (Cravo *et. al.*, 2016).

Através do mapa temático, foi possível evidenciar uma variabilidade nas concentrações do elemento mais acentuadas e localizadas em alguns setores, sem, no entanto, demonstrar uma tendência de regularidade.

Figura 3 - Mapa de Krigagem para a variável Fósforo (P)

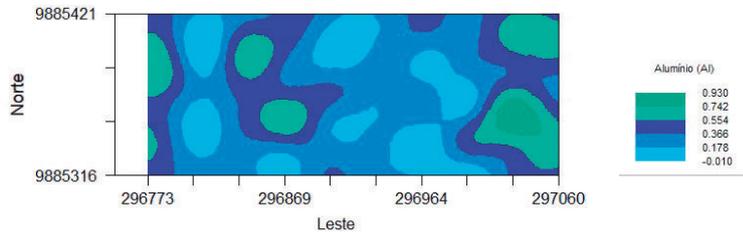


Fonte: Autor

Em relação ao Alumínio (Al), houve uma variação de 0 a 0,9 cmolc dm<sup>-3</sup>. Valores no solo abaixo de 0,3 cmolc dm<sup>-3</sup> são considerados adequados à produção vegetal, enquanto valores acima desta referência são considerados altos e inadequados, necessitando intervenção para sua correção (Cravo *et. al.*, 2016).

Por meio do mapa de krigagem, foi possível observar uma alta concentração deste elemento na maior parte da área estudada. Porém, também foi identificada algumas regiões circulares com baixa concentração, distribuídas principalmente na parte central da área.

Figura 4 - Mapa de Krigagem para a variável Alumínio (Al)

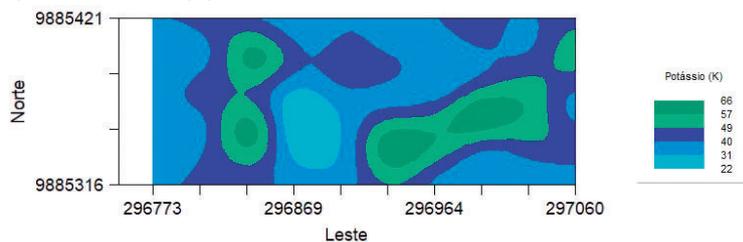


Fonte: Autor

O Potássio (K) variou de 24,0 a 64,0 mg/dm<sup>3</sup>. Valores inferiores ou iguais a 40 mg/dm<sup>3</sup> foram classificados como baixos, de 41 a 60 mg/dm<sup>3</sup> como médios e entre 61 e 90 mg/dm<sup>3</sup> como altos.

Na área em questão, foi possível identificar altas concentrações em parte das porções oeste e sudeste da área, porém a área como um todo apresenta, no geral, concentrações baixas e médias.

Figura 5 - Mapa de Krigagem para a variável Potássio (K)

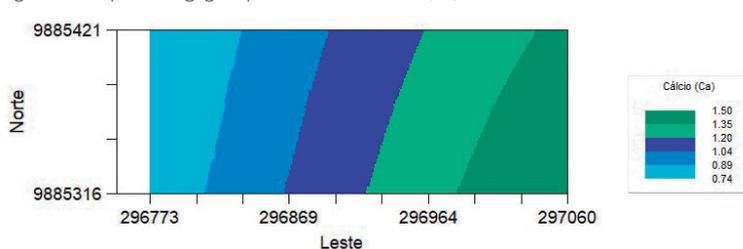


Fonte: Autor

O Cálcio (Ca) demonstrou uma variação de seus teores de 0,3 a 3,0 cmolc dm<sup>-3</sup>, sendo assim, conferindo-se valores inferiores ou iguais a 2,0 cmolc dm<sup>-3</sup>, que são considerados baixos na interpretação de fertilidade do solo.

No mapa temático foi possível evidenciar uma tendência na área, onde as concentrações mais altas situaram-se nas porções mais à leste, diminuindo os valores do elemento para o sentido leste da área. Isso é explicado pela aplicação de calcário dolomítico na região vizinha, localizada à oeste da área. O cálcio presente no calcário dolomítico, provavelmente, foi lixiado para a área de estudo devido diferença topográfica.

Figura 6 - Mapa de Krigagem para a variável Cálcio (Ca)

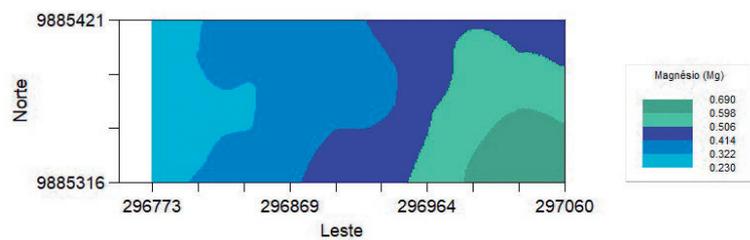


Fonte: Autor

Em relação ao Magnésio (Mg), a variação foi de 0,1 a 1,2 cmolc/dm<sup>3</sup>. Para este elemento valores abaixo ou iguais a 0,5 cmolc dm<sup>-3</sup> são considerados baixos, enquanto os que variaram entre 0,6 e 1,5 cmolc dm<sup>-3</sup> considerados médios.

Através da interpretação do mapa gerado, foi possível identificar uma tendência da concentração do magnésio também do sentido leste-oeste, assim como o cálcio (Ca). O motivo para essa tendência, também pode ser explicado devido a aplicação de calcário dolomítico na região vizinha à fronteira leste da área de estudo, o que possivelmente contribuiu para essa maior concentração naquela porção, e gradativa diminuição do elemento em direção a porção oeste.

Figura 7 - Mapa de Krigagem para a variável Magnésio (Mg)

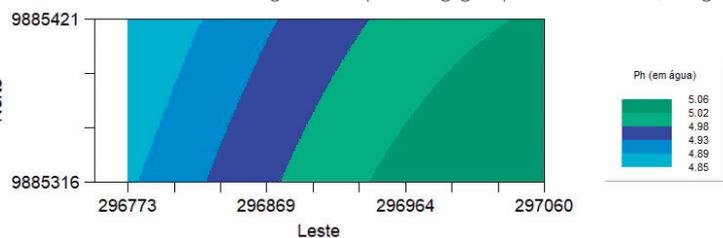


Fonte: Autor

O pH (em água) variou dentro de valores tipicamente ácidos, no intervalo de 4,6 a 5,2. Àqueles que variaram entre 4,4 e 5,0 foram considerados valores baixos ou extremamente ácido para esse atributo, já os que variaram entre 5,1 e 5,5 considerados médios ou muito ácidos.

Os valores mais ácidos estão concentrados na porção oeste da área e os mais básicos à leste, provavelmente também influenciados pelo calcário dolomítico aplicado na área vizinha.

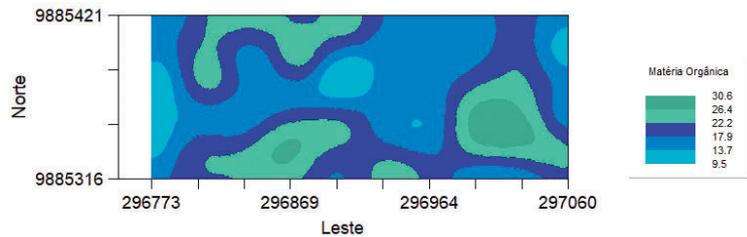
Figura 8 - Mapa de Krigagem para a variável Ph (em água)



Fonte: Autor

Quanto a matéria orgânica, os teores variaram de 12,0 a 27,0 g kg<sup>-1</sup> (baixa a média) sendo que na maior parte da área são observadas baixas concentrações e médias concentrações em porções pontuais da área de estudo, à exemplo das porções noroeste, sudoeste e sudeste da área.

Figura 9 - Mapa de Krigagem para a variável Matéria Orgânica (M.O.)

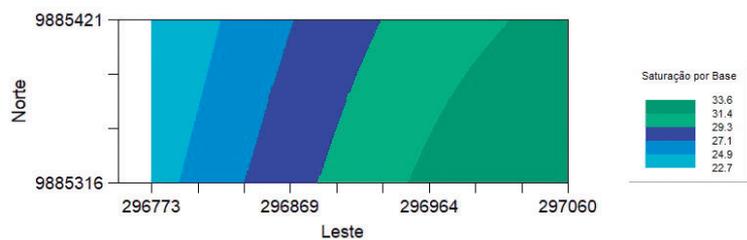


Fonte: Autor

No atributo Saturação por Base (V%) também variou de concentração no sentido oeste-leste, com amplitude de variação de valores de 13% a 47%, classificada na faixa muito baixa e baixa fertilidade (<50%), respectivamente, o que caracteriza como solo distrófico (Cravo *et. al.*, 2016).

Verifica-se ainda na sua variabilidade um comportamento semelhante aos constatados nos atributos pH, Ca e Mg. Este comportamento é devido que, os referidos elementos fazem parte da composição desse atributo, e assim, inferindo-se afirmar que a variabilidade desse atributo é dependente da influência de teores desses elementos. Portanto, mesma reflexão usada para o entendimento dos comportamentos semelhantes dos elementos acima citados, pode ser atribuída para este atributo, que sofreu influência da aplicação de calcário dolomítico na transição leste com a área vizinha.

Figura 10 - Mapa de Krigagem para a variável Saturação por Base (V%)



Fonte: Autor

Como justificativa para demonstração da tendência na distribuição do Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Ph (em água) e Saturação por Base (V%), interpretada como resultado da aplicação de calcário dolomítico na área vizinha à leste, optou-se pela elaboração do modelo de elevação do terreno, com auxílio do *software* Surfer 8.

Através da interpretação do mapa, fica evidente a diferença topográfica relatada anteriormente no decorrer deste tópico, o que deve ter afetado diretamente na distribuição dos atributos químicos em questão (figura 11).

### 3 RECOMENDAÇÃO DE MANEJOS SUSTENTÁVEIS

Considerando o diagnóstico do solo estudado como de baixa qualidade

no aspecto da sua fertilidade, propõe-se as seguintes atividades para serem implementadas a partir do planejamento do calendário agrícola local do ano seguinte, levando-se em consideração as culturas da mandioca e feijão-caupi, que foram relatadas pelos agricultores no referido diagnóstico:

1) Realizar inicialmente a prática da calagem em toda área a ser plantada. É importante considerar a qualidade do calcário a ser adquirido, como o que tem PRNT (Poder Relativo de Neutralização Total) 100% e um dos tipos Magnesiano ou Dolomítico, que contém maior teor de Mg, visto que o solo a ser utilizado tem baixo teor desse nutriente.

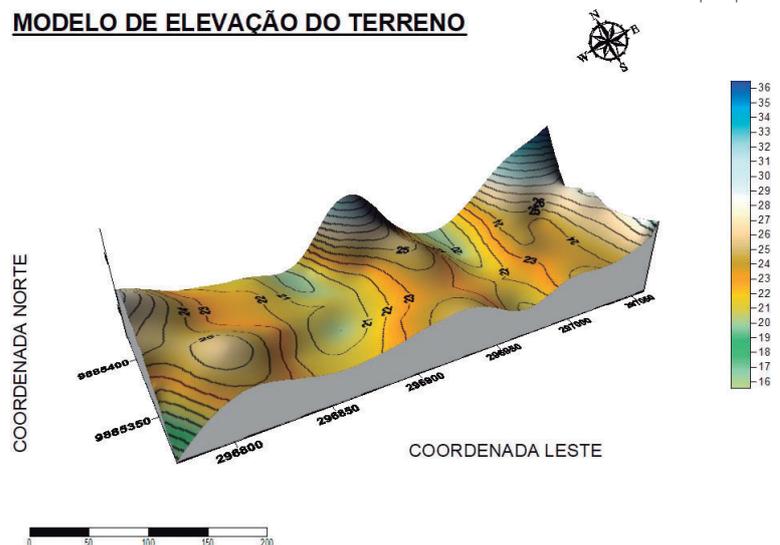
A quantidade definida e adquirida de calcário para área, deverá ser distribuída de forma homogênea, no início do período chuvoso ou das primeiras chuvas anterior ao calendário agrícola local.

2) Considerando a área de estudo com baixa qualidade em Fósforo (P), e visando práticas de manejo para sua recuperação no solo da área, recomenda-se fazer uso de adubação fosfatada com pó-de-rocha ou fosfato de rocha, de acordo com a necessidade do solo e da composição de P no material fosfatado. O material adquirido deve ser distribuído a lanço, de forma homogênea na área, em período antecipado do plantio das culturas no calendário agrícola;

3) No manejo de plantio da mandioca e do feijão-caupi se deve obedecer ao calendário agrícola local, sendo realizado no sistema de consorciado e rotacionado na mesma área, considerando suas peculiaridades de manejos, a seguir:

- épocas de plantios, considerando o período chuvoso local, no ano;
- quanto à espaçamentos, considerar os utilizados em sistemas em consórcios na região e culturas. No caso da mandioca, o mais utilizado são os de fileiras duplas (2,5m x 0,8m x 0,8m), deixando espaços livres entre as fileiras duplas de mandioca para uso de plantios de outras culturas de épocas, como o

Figura 11 - Modelo de elevação do terreno, demonstrando as porções mais altas e mais baixas da área de pesquisa



Fonte: Autor

milho ou arroz, feijão-caupi e, ou, outras leguminosas especiais na recuperação e proteção do solo;

4) No local, a partir da colheita do feijão-caupi da área, cultivado em consórcio com a mandioca, a área livre entre as fileiras duplas de mandioca pode ser usada para plantios de leguminosas adaptadas ao local de cultivo. Para tanto, fazer experimentação em campo com espécies de leguminosas ocorrentes na região com vista encontrar a(s) mais adequada(s) ao clima e solo local e com potencialidades de fixação biológica de Nitrogênio. Após a definição da(s) espécie(s) adaptada(s), deverá ser implementado o banco de sementes de leguminosas para produção das sementes em caráter permanente, que irão ser utilizadas nos agroecossistemas locais, bem como para em recuperação de áreas degradadas.

5) Uso de compostagem orgânica: o composto orgânico é um adubo estabilizado que contém grande quantidade de nutrientes prontamente disponível para a absorção das plantas. É proveniente da transformação por microrganismos específicos de resíduos vegetal ou animal. Para o seu processamento são necessários os seguintes materiais:

- como inoculante podem ser usados os esterco verdes em geral e a raspa da mandioca;
- como materiais orgânicos podem-se utilizar os restos de colheita obtidos na própria área de cultivos na propriedade.

A quantidade a ser produzida depende diretamente do volume e material orgânico disponível no local. No processamento da compostagem, misturam-se os materiais inoculante e um certo volume de resíduos orgânicos, que são amontoados em camadas formando pilhas com altura até o limite de manejo confortável e protegidas. A completa transformação dos resíduos orgânicos em adubo estabilizado ocorre em um tempo aproximado de 60 dias, dependendo do tipo de resíduos mais ou menos fibrosos.

#### 4 CONCLUSÕES

Abaixo foram enumeradas as principais conclusões pertinentes ao objetivo do trabalho em questão:

- 1) A organização espacial dos atributos da fertilidade do solo estudado é heterogênea.
- 2) Os atributos da fertilidade do solo apresentaram variabilidade espacial moderada e dependência espacial forte, com exceção do atributo Magnésio (Mg), que apresentou dependência espacial moderada.
- 3) Os semivariogramas mostraram-se eficientes em agrupar variáveis correlacionadas entre si.
- 4) Os mapas dos atributos da químicos do solo apresentaram variabilidade espacial em locais semelhantes entre os atributos pH (em água), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Saturação por Bases (V%).
- 5) Os mapas permitiram estabelecer, por meio dos atributos de fertilidade, o nível da fertilidade do solo, classificando-o como de baixa qualidade.
- 6) O uso de técnicas de agricultura de precisão, como a proposta no trabalho, por meio da confecção dos mapas de *krigagem*, demonstrando a variabilidade

espacial de cada um dos atributos de fertilidade considerados na pesquisa, pode ser utilizada para otimizar o planejamento agrícola e melhoraria na tomada decisão, possibilitando a organização de práticas adequadas que visem um manejo preciso dos solos, como por exemplo, a definição e separação de parte de áreas para uso específico com práticas de recuperação, de adubação e de conservação.

#### REFERÊNCIAS

AQUINO, R. E.; JUNIOR, M. J.; CAMPOS, M. C. C.; OLIVEIRA, I. A.; SIQUEIRA, D. S. Distribuição espacial de atributos químicos do solo em área de pastagem e floresta. **Revista Pesquisa Agropecuária Tropical**, vol. 44, nº 01, p. 32-41, Goiânia-GO, jan./mar., 2014.

BITTENCOURT, B. T. T.; PACHECO, J. J.; PALHETA, M. V. O.; JUNIOR, R. M. F. C.; COSTA, S. V.; TOSTES, W. S. Estatística Municipal Bragança. Instituto de Desenvolvimento Econômico, Social e Ambiental do Pará. Governo do Estado do Pará, 2014.

CAMPOS, M. C. C.; JUNIOR, J. M.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M.; BARBIERI, D. M. Aplicação de adubo e corretivo após o corte da cana-planta utilizando técnicas geoestatísticas. **Revista Ciência Rural**, vol. 38, nº 04, p. 974-980, jul. 2008.

CORÁ, J. E. The potential for site-specific management of soil and yield variability induced by tillage. Tese de Doutorado, East Lansing, Michigan State University, 104 p., 1997.

CORÁ, J. E.; ARAUJO, A. V.; PEREIRA, G. T.; BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, vol. 28, p. 1013-1021, 2004.

CRAVO, M. S.; SMYTH, T. J.; SOUZA, B. D. L. Cultura da Mandioca: Aspectos socioeconômicos, melhoramento genético, sistemas de cultivo, manejo de pragas e doenças e agroindústria. Capítulo 5: Calagem e adubação para a cultura da mandioca. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), Brasília-DF, 2016.

DALCHIAVON, F. C.; BEM, E. A. D.; CARVALHO, M. P.; SARTO, M. D.; MONTANARI, R.; KANEKO, F. H. Relações da produtividade de cana-de-açúcar com atributos químicos de um Argissolo. **Revista de Ciências Agrárias**, vol. 40, nº 04, p. 756-769, 2017.

FERREIRA, F. V. Estatística experimental aplicada à agronomia. EDUFAL, Maceió-AL, 1991.

FLATMAN, G. T.; YFANTIS, A. A. Geostatistical strategy for soil sampling: the survey and the census. **Environmental Monitoring and Assessment**, vol. 04, p. 335-349, 1984.

EMBRAPA. Manual de Métodos de Análise de Solo. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 3ª Edição, p. 575, Brasília-DF, 2017.

MZUKU, M.; KHOSLA, R.; REICH, R.; INMAN, D.; SMITH, F.; MACDONALD, L. Spatial Variability of Measured Soil Properties across Site-Specific Management Zones. **Soil Science Society American Journal**, vol. 69, september-october, 2005.

MACHADO, L. O.; LANA, A. M. Q.; LANA, R. M. Q.; GUIMARÃES, E. C.; FERREIRA, C. V. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em áreas sob sistema plantio convencional. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, vol. 31, p. 591-599, 2007.

NASCIMENTO, R. S.; SALAME, M. F. A. Sistema de Interpretação de Informações do Solo para Tomada de Decisão Estratégica na Produção de Mandioca no Amazonas. *Anais da XII Jornada de Iniciação Científica da Embrapa Ocidental*, Brasília-DF, 2016.

PITA, J. D. Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo e dendrométricos em plantio de Teca (*Tectona grandis* L. f. Lamiaceae) no município de Abaetetuba-PA. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), p. 93, Belém-PA, 2012.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo. Instituto Agronômico e Fundação IAC, 2ª Edição, p. 08-13, Campinas-SP, 1996.

RIBEIRO, L. S.; OLIVEIRA, I. R.; DANTAS, J. S.; SILVA, C. V.; SILVA, G. B.; AZEVEDO, J. R. Variabilidade espacial de atributos físicos de solo

coeso sob sistemas de manejo convencional e de plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol. 51, nº 09, Brasília-DF, 2016.

RIBEIRO, S. B. Caracterização dos solos e implantação de sistemas agroflorestais no IFPA/Campus Rural de Marabá e em áreas de pequenos agricultores. Projeto de Qualificação de Mestrado, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA), p. 23, Castanhal-PA, 2015.

SANTOS, H. G.; JUNIOR, W. C.; DART, R. O.; ÁGLIO, M. L. D.; SOUSA, J. S.; PARES, J. G.; FONTANA, A.; MARTINS, A. L. S.; OLIVEIRA, A. P. O Novo Mapa de Solos do Brasil: Legenda Atualizada. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Rio de Janeiro-RJ, 2011.

SPAROVEK, G.; SCHNUG, E. Soil tillage and precision agriculture: A theoretical case study for soil erosion control in Brazilian sugar cane production. *Revista Soil and Tillage Research*, vol. 61, nº 1-2, Texas-USA, 2001.

VASQUEZ, M. L.; ROSA-COSTA, L. T. Geologia e Recursos Minerais do Estado do Pará. Serviço Geológico do Brasil (CPRM), Belém-PA, 2008.