



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA**

**VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS
DO SOLO CORRELACIONADAS COM A PRODUÇÃO DE LARANJA NO ESTADO
DO PARÁ**

**RUBENS DE OLIVEIRA MEIRELES
Engenheiro Agrônomo**

**BELÉM – PA
2012**



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE AMAZÔNIA

**VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS
DO SOLO CORRELACIONADAS COM A PRODUÇÃO DE LARANJA NO ESTADO
DO PARÁ**

RUBENS DE OLIVEIRA MEIRELES
Engenheiro Agrônomo

Trabalho de Tese apresentado à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Curso de Doutorado em Ciências Agrárias, Área de Concentração em Agroecossistema da Amazônia, para obtenção do título de Doutor.

Orientador:
Eng. Agr^o Paulo Roberto Silva Farias, Doutor

BELÉM/PA

2012

Meireles, Rubens de Oliveira

Variabilidade espacial e temporal das características químicas do solo correlacionadas com a produção de laranja no Estado do Pará. / Rubens de Oliveira Meireles. - Belém, 2012.

74 f.

Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) – Universidade Federal Rural da Amazônia, 2012.

1. Solo – características químicas. 2. Geoestatística. 3. Laranja – produtividade. I.Título.

CDD – 631.41



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE AMAZÔNIA

**VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS
DO SOLO CORRELACIONADAS COM A PRODUÇÃO DE LARANJA NO ESTADO
DO PARÁ**

RUBENS DE OLIVEIRA MEIRELES
Engenheiro Agrônomo

Trabalho de Tese apresentado à
Universidade Federal Rural da Amazônia,
como parte das exigências do Curso de
Doutorado em Ciências Agrárias, Área de
Concentração em Agroecossistema da
Amazônia, para obtenção do título de
Doutor.

Aprovada em 21 de dezembro de 2012.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Paulo Roberto Silva Farias
Universidade Federal Rural da Amazônia
(Orientador)

Prof. Dr. Edson Marcos Leal Soares Ramos, 1º Examinador
Universidade Federal do Pará

Prof. Dr. Welliton de Lima Sena, 2º Examinador
Instituto Federal do Pará - Campos Castanhal

Prof. Dr. Francisco José de Oliveira Parise, 3º Examinador
Universidade Federal Rural da Amazônia

Prof. Dr. Joaquim Alves de Lima Junior, 4º Examinador
Universidade Federal Rural da Amazônia

Aos meus pais LEILA DE OLIVEIRA MEIRELES e LÁZARO ANTÔNIO MEIRELES, pelo esforço material e espiritual dedicado em proporcionar-me este momento de realização acadêmica.

Aos meus irmãos: ANTÔNIO ROBERTO DE OLIVEIRA MEIRELES, ANA MARIA MEIRELES COSTA, ALEXANDRE DE OLIVEIRA MEIRELES, ALBERTO DE OLIVEIRA MEIRELES, RICARDO DE OLIVEIRA MEIRELES, RITA DE OLIVEIRA MEIRELES, RAQUEL DE OLIVEIRA MEIRELES, ADRIANA DE OLIVEIRA MEIRELES e REGINA DE OLIVEIRA MEIRELES, com muito carinho e amor.

À minha esposa ANA CLÁUDIA FERREIRA MENDES e aos meus filhos, VICTOR HUGO MENDES MEIRELES e VINICIUS MENDES MEIRELES

Aos meus amigos.

MENSAGEM DO AUTOR

Não são as vitórias, conquistas e obstáculos superados que nos fazem mais fortes, inteligentes ou superiores aos nossos irmãos. Elas servem, apenas, de ponte para alcançarmos o equilíbrio necessário para sermos mais tolerantes, sábios e previdentes nos momentos mais difíceis de nossas vidas. Por isso que dedico este trabalho a todas as pessoas que buscam o conhecimento como forma de superar suas limitações morais, intelectuais e materiais.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Deus e à Espiritualidade Amiga, por ajudar-me a vencer mais esta etapa da vida.

À minha família, pelo constante apoio.

Ao professor Dr. Paulo Roberto Silva farias, pela orientação, amizade, dedicação e interesse despretensiosos apresentados na consecução deste trabalho.

À professora da UFRA, Dra. Herdjanía Veras de Lima, pela colaboração, amizade e apoio.

Ao professor da UFRA, Dr Francisco José de Oliveira Parise, pelo apoio, incentivo e sugestões para o trabalho.

Ao professor da UFRA, Dr, Joaquim Alves de Lima Junior, pelo apoio, incentivo e sugestões para o trabalho.

Ao professor da UFPA, Dr. Edson Marcos Leal Soares Ramos , pelo apoio, incentivo e sugestões para o trabalho

À professora da Universidade Federal do Pará, Dra. Maria do Carmo, pela colaboração nas análises dos dados metereológicos.

Aos meus amigos do doutorado: Emerson Vinicius, Jessivaldo Galvão, Dionísio, Tatiana Gazel , entre outros pelo estimado convívios e amizade.

À Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), pela oportunidade.

Ao Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) pela compreensão e a disponibilidade em conciliar meu horário nos momentos que mais precisei.

Ao Superintendente, Elielson Pereira da Silva.

Ao chefe da Divisão de Desenvolvimento desta superintendência, Rodson Sousa, pela sensibilidade em atender, sempre que possível, minhas solicitações no processo de construção e execução deste trabalho.

À chefe do recursos Humanos desta Superintendência, Mariana Luz, pela sua incansável ajuda nos momentos que precisei.

Aos amigos de trabalho: Pedro da Silva Neto, Ronaldo Coelho, Daniel Jordy, Paulo Dutra, Blunio Bernard. E de um modo especial aos amigos de sala, Francy Mary Costa e Elton Carlos Garcez pelo apoio incondicional e estimulador nas horas que mais precisei de forças para vencer mais este percalço na estrada do saber.

SUMÁRIO

1-INTRODUÇÃO.....	12
2 - REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1 AGRICULTURA DE PRECISÃO.....	14
2.2 AGRICULTURA DE PRECISÃO E A CITRICULTURA.....	16
2.3 A CULTURA DOS CITROS NO BRASIL E ESTADO DO PARÁ.....	17
2.4 FERTILIDADE DO SOLO.....	18
2.5 MACRONUTRIENTES E A CULTURA DA LARANJA	20
2.6 GEOESTATÍSTICA	21
2.7 VARIABILIDADE ESPACIAL	23
2.8- APLICAÇÃO LOCALIZADA DE INSUMOS.....	25
2.9 MAPEAMENTO DA PRODUTIVIDADE	27
2.10 SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL (GPS).....	29
3 - MATERIAL E MÉTODOS	30
3.1- Localização.....	30
3.1.1 IMAGENS.....	31
3.1.2 GEORREFERENCIAMENTO DOS TALHÕES.....	31
3.2- Descrição do Pomar Selecionado e Amostragem	33
3.3- Amostragem e Análise do Solo.....	34
3.4. Estatística Descritiva	35
3.5. Geoestatística dos Dados.....	35
3.5.1 - ANÁLISE VARIOGRÁFICA: SEMIVARIOGRAMA EXPERIMENTAL	35
3.5.2 Equação de Cálculo.....	36
3.5.3 - Modelos.....	37
i) Modelos com Patamar	37
ii) Modelo Esférico.....	38
iii) Modelo Exponencial.....	38
iv) Modelo Gaussiano.....	39
v) Modelo Aleatório (Efeito Pepita Puro)	39
3.5.4. Estimação: O Preditor de Krigagem.....	39
3.5.5 Condições Requeridas	40
3.6 - Programas Utilizados nas Análises	40
4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	41
5- CONCLUSÕES.....	63
6- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Imagem de satélite do Estado do Pará, destacando a capital do estado, Belém, e o município de Capitão Poço (resolução espacial de 30 m).....	30
Figura 2 Mapa de localização dos talhões de citros da fazenda Citropar- Capitão Poço, PA.....	31
Figura 3 Mapa de localização da área de estudo (talhão DQ12), Capitão Poço, PA	32
Figura 4 Mapa de localização espacial das plantas (latitude e longitude) do talhão DQ12, mostrando o esquema dos pontos(■) de localização das amostragens de produtividade, diâmetro dos frutos e coleta de solos nos anos de 2007 a 2009.....	33
Figura 5 esquema do semivariograma experimental (adaptado de GUERRA, 1988).	34
Figura 6 Semivariogramas com patamar (adaptado de RENDU, 19780).	36
Figura 7 Distribuição do potencial de diâmetro de frutos da quadra DQ12 em 2007 a 2009, Capitão Poço, PA.	42
Figura 8 Distribuição de Potencial de produtividade da quadra DQ12 em 2007 a 2009, Capitão Poço, PA.....	43
Figura 9 Semivariogramas da produtividade (A), tamanho do fruto (B) no ano de 2007, da produtividade (C), tamanho do fruto (D) no ano de 2008, da produtividade (E), de tamanho do fruto (F) ano de 2009.....	51
Figura 10 Mapa do diâmetro do fruto (A) ano 2009, do diâmetro do fruto (B) ano 2008, do diâmetro do fruto (C) ano 2007 e da amostragem das plantas georreferenciadas da quadra DQ12 (D).....	52
Figura 11 Mapa de produtividade (A) ano de 2009, de produtividade (B) ano de 2008, de produtividade (C) ano de 2007 e da amostragem de plantas georreferenciadas da quadra DQ12 (D).....	53
Figura 12 Semivariogramas mostrando os modelos ajustados para pH, Matéria Orgânica (M.O.), Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg) no solo no ano de 2007.	55
Figura 13 Semivariogramas mostrando os modelos ajustados para pH, Matéria Orgânica (M.O.), Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg) no solo no ano de 2009).	56
Figura 14 Mapa de variabilidade espacial de tamanho de fruto e produtividade aos de pH, matéria Orgânica (M.O.), Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg) no solo no ano de 2007.	59
Figura 15 Mapa de variabilidade espacial de tamanho de fruto e produtividade sobrepostos aos de pH, Matéria Orgânica (M.O.), Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca) e magnésio (Mg) no solo no ano de 2009.....	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Dados pluviométricos da fazenda Citropar dos anos de 2007 a 2009.....	42
Tabela 2 Balanço Hídrico de Capitão Poço, Pará.	44
Tabela 3 Estatísticas descritivas das análises químicas do solo.	46
Tabela 4 Correlação dos atributos do solo com a produtividade e o diâmetro dos frutos nos anos de 2007 a 2009.	47
Tabela 5 parâmetros dos semivariogramas das variáveis estudadas ajustados aos modelos.	49

Resumo

Com objetivo de avaliar a variabilidade espacial e temporal da concentração de macronutriente no solo, correlacionando com a produtividade e tamanho de frutos de laranja no Estado do Pará, foi conduzido um experimento na fazenda Citropar, utilizando a técnica da geoestatística. A área experimental foi a quadra DQ12 de 16 ha com 4600 plantas, durante os anos de 2007 a 2009 foram coletadas as amostras de tamanho de fruto, produção e de solos. Os resultados obtidos durante os três anos analisados permitiram concluir que, os mapas de produtividade e tamanho dos frutos mostraram alta variabilidade espacial; não houve influencia da produtividade pelo tamanho dos frutos e sim pela quantidade de frutos por planta; não houve influência do pH, M.O, P, K Ca e Mg na produtividade e tamanho dos frutos. Os mapas de produtividade, diâmetro dos frutos, pH e matéria orgânica (M.O.) e macronutrientes no solo (P, K, Ca e Mg), gerados por meio do georreferenciamento com GPS e analisados por meio da geoestatística, mostraram as diferenças existentes entre as regiões representadas pelos diversos pontos amostrais levantados, permitindo a identificação de subáreas onde o gerenciamento das práticas de campo pode ser orientada em conformidade com o grau da variabilidade desse fator.

Palavras chaves: Produtividade - laranja; geoestatística; macronutrientes.

ABSTRACT

Aiming to evaluate the spatial and temporal variability of macronutrient concentration in soil, correlating with the size and productivity of oranges in the state of Pará, an experiment was conducted at the farm Citropar, using the technique of geostatistics. The experimental area was a block of 16 DQ12 ha with 4600 plants, during the years 2007 to 2009 were collected samples of fruit size, yield and soil. The results obtained during the three years analyzed showed that the yield maps and fruit size showed high spatial variability, there was no influence productivity by fruit size but by the number of fruits per plant, there was no influence of pH, MO , P, K, Ca, Mg on yield and fruit size, yield maps, fruit diameter, pH and organic matter (OM) and soil nutrients (P, K, Ca and Mg), generated through the georeferencing comGPS através geostatistics and analyzed, showed the differences between the regions represented by the various sampling points raised, allowing the identification of sub-areas where the management practices of field can be oriented in accordance with the degree of variability of this factor.

Key words: Productivity; geostatistics; orange; macronutrients.

1 – INTRODUÇÃO

O Brasil possui condições plenamente favoráveis para incrementar a produção mundial de alimentos, uma vez que o agronegócio é uma das atividades mais importantes da economia nacional e tem gerado mais de um terço do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro. Dentre as *commodities*, destaca-se a cultura da laranja, que é extremamente expressiva para o agronegócio do Brasil, Dados do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) mostram que o Brasil é o maior produtor mundial de laranja. Na safra 2010, a produção brasileira representou 32,6% da produção mundial (18,3 milhões de toneladas). Logo atrás do Brasil estão os Estados Unidos e União Europeia.

Com o processo de globalização a disputa por vantagens comparativas no mercado agrícola acirraram-se, sobretudo na competitividade de preço dos produtos agrícolas. Então surgiu a necessidade de se obter níveis de competitividade internacionais. Além disso, a busca pela conservação dos recursos naturais impõe à atividade agrícola, novos métodos e técnicas de produção, aliados à eficiência e maior controle dos resultados obtidos no campo, em relação ao que se pratica hoje. Entretanto, a agricultura moderna está relacionada ao plantio de extensas áreas de monocultura. Isto se torna mais evidente na região amazônica, onde o preço da terra é baixo e há um grande número de áreas disponíveis para essas práticas, sendo um dos principais problemas que refletem diretamente na produtividade agrícola dessas áreas. Pois, pelas características dos solos da região amazônica, na qual requerem correção e fertilização para produzir de forma competitiva, uma distribuição inadequada de insumos e defensivos no terreno, poderá ocorrer danos ambientais.

A partir dos avanços tecnológicos na agropecuária, especialistas têm notado, cada vez mais, que os diversos setores da agricultura não podem ser tratados de maneira homogênea no que diz respeito à medição de variáveis nas áreas agrícolas. Neste sentido, a variação espacial e temporal deve ser considerada para melhor aplicação e aproveitamento dos insumos químicos, podendo assim aumentar a produtividade, reduzir o custo de produção e o impacto ambiental causado pelo excesso de produtos químicos utilizados (FARIAS et al., 2003).

Neste contexto, a Agricultura de Precisão (AP) apresenta-se como uma moderna ferramenta para auxiliar o produtor rural na definição das melhores estratégias a serem adotadas para aumentar a eficiência do gerenciamento agrícola. Tradicionalmente, a agricultura convencional utiliza no processo de tomada de decisão poucas informações e, muitas vezes, com base empírica. Este fato conduz a simplificações como o tratamento por médias de produções, da aplicação de insumos e mesmo, do retorno econômico desconsiderando o grau de variabilidade

existente na área. O resultado desta estratégia de trabalho é que, por exemplo, na aplicação de insumos, pode-se ter excessos em determinados locais e deficiências em outros. Com isto, verifica-se um aumento do risco de impacto ambiental da atividade e um comprometimento do retorno econômico.

A Agricultura de Precisão é composta de um conjunto de tecnologias que são aplicadas para permitir um sistema de manejo que considere a variabilidade espacial existente na área. Ela contém componentes primários: o sistema de posicionamento global (GPS), que fornece a posição onde o equipamento está localizado, mecanismos para controle de aplicação de nutrientes, defensivos agrícolas, água ou outros insumos em tempo real, colhedora equipada com sensores de rendimento e um banco de dados.

No Brasil, a agricultura de precisão já vem sendo adotada, principalmente, na região centro-sul do país, que se caracteriza por um crescente e inovador sistema de produção agrícola, com extensas áreas cultivadas, demandando do produtor rural um contínuo processo de transformações, visando otimizar a alocação de recursos e diminuir os problemas ambientais.

Na microrregião do Guamá, o solo predominante é o Latossolo Amarelo distrófico de textura média, com baixa fertilidade natural. Mesmo apresentando tais características de solos, o estado do Pará apresenta condições edafoclimáticas favoráveis à citricultura. Em função das características edáficas, o manejo adequado deste solo, é de extrema importância para a sustentabilidade da produção de citros na microrregião, com destaque para a melhoria das características químicas. No entanto, o que se tem observado são práticas de manejo inadequadas, o que tem levado à perda da capacidade produtiva dos solos e conseqüentemente ao declínio na produção, ou seja, a reposição de nutrientes e correção do solo não são realizadas de forma que possa suprir as necessidades da cultura no decorrer dos anos.

Neste sentido, este trabalho tem como objetivo avaliar a variabilidade espacial e temporal da concentração de macronutrientes no solo, correlacionando com a produtividade e tamanho dos frutos em pomares de citros na região de Capitão Poço-Pará.

2 - REVISÃO DE LITERATURA

2.1 AGRICULTURA DE PRECISÃO

A agricultura de precisão está norteadando muitos produtores no meio rural brasileiro. Sua utilização como ferramenta para uma maior eficiência na administração da propriedade é uma realidade. No sistema em que se usa as médias, ainda muito praticado no país, que não leva em consideração a variabilidade existente nos talhões, onde se aplica os insumos de maneira generalizada. Já no sistema de AP, busca-se aperfeiçoar a aplicação dos recursos na produção de acordo com a variação existente entre os talhões. Além disso, nesse sistema, os resultados são apresentados de acordo com a variabilidade das lavouras na forma de mapas e não mais somente pelas médias.

Segundo Manzatto et al. (1999) o conceito de Agricultura de Precisão é aplicar no local correto, no momento adequado, as quantidades de insumos necessários à produção agrícola, para áreas cada vez menores e mais homogêneas, tanto quanto a tecnologia e os custos envolvidos permitirem.

De acordo com Mantovani et al. (1998) a Agricultura de Precisão é a tecnologia cujo objetivo consiste em aumentar a eficiência, com base no manejo diferenciado de áreas na agricultura. A agricultura de precisão não consiste simplesmente na habilidade em aplicar tratamentos que variam de local para local, porém, ela deve ser considerada com a habilidade em monitorar e acessar a atividade agrícola, precisamente em um nível local, tanto que as técnicas de agricultura de precisão devem ser compreendidas como uma forma de manejo sustentável, na qual as mudanças ocorrem sem prejuízos para as reservas naturais, ao mesmo tempo em que os danos ao meio ambiente são minimizados. Além de útil à agricultura de precisão, esta definição engloba a idéia de compromisso no uso da terra, relativamente às gerações futuras. Um manejo sustentável implica algo mais além da manutenção dos índices de produtividade.

Davis (1998) afirma que a agricultura de precisão é definida com base nas tecnologias que permitem que ela seja realizada com GPS (Sistema de Posicionamento Global) e sistemas de taxa variável. Tão importantes quanto os dispositivos usados na agricultura de precisão, é perceber que a informação usada ou coletada é o ingrediente chave para o sucesso do sistema. O conceito de agricultura de precisão se distingue da agricultura tradicional por seu nível de manejo. Em vez de administrar uma área inteira como única unidade, o manejo é adaptado para pequenas áreas dentro de um campo.

Segundo Saraiva et al. (2000), a AP é um novo paradigma de gerenciamento agrícola que está alterando a forma de se praticar agricultura em todo o mundo. Num primeiro momento,

a AP era vista apenas como um conjunto de ferramentas para o manejo localizado da lavoura. Posteriormente, passou-se a dar-lhe uma visão mais sistêmica do conjunto de ações que a compõe. Esse tipo de agricultura é acima de tudo um sistema de gestão ou de gerenciamento da produção agrícola, composta por um conjunto de tecnologias e procedimentos utilizados para otimizar o sistema produtivo. Tem como elemento chave o gerenciamento da variabilidade espacial da produção e dos fatores a ela relacionados (MOLIN, 2001).

Para Silva et al. (2000), a exploração com base em Sistemas de Produção pressupõem que a maximização da rentabilidade e da qualidade do sistema é promovida pela otimização de cada etapa do processo produtivo das culturas que o compõem. E é considerada a base estratégica fundamental para integração da produção agrícola, por meio da AP. Nestas condições, agrega-se ao produto uma vantagem competitiva que nem sempre lhe é conferida pela agricultura convencional quando apenas reduz-se custo ou busca-se a elevação da produtividade, como forma de maximizar a renda líquida das explorações.

Conforme Focht et al. (2004), a AP consiste de um conjunto de técnicas que envolvem máquinas e equipamentos, softwares e pessoal especializado, com objetivo de prover uma ferramenta mais apurada no referente ao gerenciamento agrícola. Esses autores também informam que, atualmente, no Brasil, a referida agricultura foge ao contexto do manejo em sítio específico, muito abordado por 31 diversos autores, na década de 90. É vista, atualmente, como um sistema mais amplo em que as variáveis não condizem apenas à produção, mas também são questionadas em relação a fatores ambientais e agronômicos.

De acordo com a Arvus (2007), a AP tende a criar uma situação virtuosa na agricultura pela redução no uso de agrotóxicos e insumos. Isso melhora a conservação dos solos cultivados, limitando a degradação do meio ambiente. Assim, quanto mais áreas utilizarem estas técnicas, menor será a degradação ambiental preservando a produtividade. Toda intervenção no processo produtivo implica em alterações nos custos e nos benefícios. Isso torna importante a realização de avaliações na magnitude destas mudanças, com vistas a subsidiar o processo de decisão.

O crescimento das plantas, conforme a lei do mínimo, citada por Raij (1991), é limitado pelo nutriente menos disponível no solo. Os aumentos sucessivos nas quantidades disponíveis no solo, em função de utilização de quantidades crescentes de fertilizantes, também podem atingir níveis prejudiciais ao crescimento das plantas. Esse é o princípio da lei dos incrementos decrescentes. Por isso, a AP é uma nova maneira de produção agrícola muito indicada para grandes áreas de lavoura. Proporciona meios de tratar cada setor da plantação de forma diferenciada, garantindo o tratamento necessário e suficiente de insumos ou defensivos, utilizando, para isso, a aplicação localizada destes.

2.2 AGRICULTURA DE PRECISÃO E A CITRICULTURA

Os primeiros estudos com AP em citros investigaram a influência das variabilidades espacial e temporal da produção. Nestes estudos, Baltchelor e Reed (1918) perceberam que a alta variabilidade espacial dos atributos químicos do solo tendia a tornar árvores, mais próximas no espaço, semelhantes na sua capacidade produtiva, mostrando uma tendência de grupos de plantas dispostas em seqüência nas fileiras de plantio ao longo do pomar.

Há três critérios que devem ser avaliados a fim de justificar o investimento e adoção de técnicas da AP na citricultura. Em primeiro, deve haver um nível significativo de variabilidade no pomar, que chega a afetar o rendimento da cultura. Em seguida, essa variabilidade deve ser idêntica e qualificada. Por fim, a variabilidade medida deve ser manejada pela modificação das práticas de produção e estratégias para aumentar lucros e reduzir os impactos ambientais (PLANT, 2001).

Assim como em outras culturas, em áreas de citros, a implantação da AP implica em algumas considerações, pois se trata de um ciclo de tarefas que tem como início o mapa de produtividade, por representar a informação mais completa na visualização da variabilidade espacial das lavouras, materializando a resposta da cultura (MOLIN; MASCARIN, 2007).

Segundo Farias et al. (2003) em um experimento usando geoestatística para mapear a produtividade em pomares cítricos, irrigados e não irrigados, verificou-se maior variabilidade para a produtividade e tamanho de frutos nas quadras irrigadas. Portanto, a geoestatística mostrou-se uma ferramenta extremamente útil para auxiliar em programas de Agricultura de Precisão.

Na implantação de práticas de agricultura de precisão em citros, a dificuldade está em gerar mapas de produtividade, justificando a pesquisa de técnicas e equipamentos para a geração dessa informação. Um dos primeiros trabalhos para o mapeamento da produtividade de laranja foi realizado por Whitney et al. (1998), seguido por Miller e Whitney (1998) e Horrom (2000). Os métodos mostraram-se adequados para as condições em que foram propostos, porém com limitações. No Brasil, Balastreire et al. (2002), Farias et al. (2003) e Parise (2004) também obtiveram mapas de produtividade utilizando técnicas diferenciadas e que exigiram adaptações e mudanças na prática da operação de colheita.

Parise e Vetorazzi (2005a) realizaram um estudo em um pomar de laranjeiras Hamlin, que procurou investigar a potenciabilidade do uso de dados espectrais de árvores, visando ao gerenciamento localizado da produção de 52 árvores. Os resultados mostraram que a resposta espectral apresentou relação significativa com a produção, embora os valores de r^2 tenham sido

baixos. A tomada de imagens multiespectrais voltadas ao gerenciamento localizado à fase de desenvolvimento vegetativo, apresentou desempenho semelhante quanto às relações entre resposta espectral e produção.

Parise e Vetorazzi (2005b) realizaram também um outro estudo em um pomar de laranjeiras Hamlin, que procurou investigar a potencialidade da utilização de dados espaço-temporais de produção por árvore para o gerenciamento localizado. A produção de 1.471 árvores georreferenciadas foi levada em dois ciclos sucessivos, 2000-2001 e 2001-2002, e classificada por meio de uma análise de agrupamentos via lógica fuzzy. Ainda, foi realizada uma análise de correlação intraclasse com dados de resposta espectral de 52 árvores, extraída de imagens aéreas multiespectrais de alta resolução espacial. Os resultados mostraram que foi possível a formação de classes distintas de comportamento produtivo, em função dos padrões de variabilidade espacial e temporal da produção. No entanto, as classes apresentaram baixa coerência espacial, o que dificulta o gerenciamento localizado da produção em nível de árvores individuais. Apesar disso, a resposta espectral esteve significativamente relacionada às classes formadas.

2.3 A CULTURA DOS CITROS NO BRASIL E ESTADO DO PARÁ

Os citros integram a família da Rutaceae ordem Sapinales, suas árvores são de porte médio, atingindo em média quatro metros de altura; a copa é densa, de formato normalmente arredondado, compreendem um grande grupo de plantas do gênero *Citrus* e outros gêneros afins (*Fortunella* e *Poncirus*) ou híbridos representado, na maioria, pela laranja (*Citrus sinensis*), tangerina (*Citrus reticulata* e *Citrus deliciosa*), limões (*Citrus limon*), limas ácidas como o Tahiti (*Citrus latifolia*) e o Galego (*Citrus aurantiifolia*), e doces como a lima da Pérsia (*Citrus limettioides*), pomelo (*Citrus paradisi*), cidra (*Citrus medica*), laranja-azeda (*Citrus aurantium*) e toranjas (*Citrus grandis*), (SWINGLE, 1967).

Os citros se desenvolvem bem em solos profundos e permeáveis, com boa fertilidade com pH variando entre 5 e 6 e com boa reserva de nutrientes permitindo maior desenvolvimento das árvores e maior produção de frutos, devendo ser desprezados solos pouco profundos, de textura muito argilosa que favorecem o encharcamento, comum nas porções baixas do terreno, ou compactação de camadas sub-superficiais que limitam o desenvolvimento do sistema radicular; solos arenosos e pedregosos, cuja capacidade de retenção de água é baixa; e também solos alcalinos, ácidos e salinos que também limitam o desenvolvimento das raízes. A laranjeira, e os outros citros se adaptam melhor em climas com temperatura entre 23 e 32 °C e umidade

relativa do ar alta, pois as temperaturas acima de 40 °C e abaixo de 13 °C fazem com que a taxa de fotossíntese diminua, o que acarreta perdas de produtividade, outro fator que favorece a produção na região Norte é que os frutos produzidos nos climas mais frios, em geral, são mais ácidos e apresentam coloração da casca e do suco mais intensa. Nos climas mais quentes como o do Estado do Pará, os frutos são mais doces.

Segundo dados da Associação Brasileira de Exportadores de Citros (ABECITRUS) o Produto Interno Bruto (PIB) do setor citrícola é de US\$ 6,5 bilhões (2009), correspondendo a 3% das exportações do agronegócio. O Estado de São Paulo responde por 80% da produção e 72% da área colhida de laranja, sendo que as maiores áreas de cultivo estão nas regiões de Barretos, Jaboticabal, Araraquara e Limeira. O município de maior produção da laranja no Estado do Pará é Capitão Poço, e um dos maiores do Brasil (IBGE, 2011), situado na microrregião do Guamá, Nordeste paraense, onde há uma maior concentração da produção estadual que fazem parte também os municípios de: Aurora do Pará, Cachoeira do Piriá, Garrafão do Norte, Ipixuna do Pará, Irituia, Mãe do rio, Nova Esperança do Piriá, Ourém, Santa Luzia do Pará, São domingos do Capim, São Miguel do Guamá e Viseu.

Em 2009, segundo dados do IBGE, a área colhida de laranja na microrregião do Guamá foi da ordem de 9,63 mil hectares o que proporcionou uma produção de 164 mil toneladas, correspondendo a uma produtividade média de 17.075 ton/ha. A produtividade da laranja na microrregião do Guamá, no período de 2001-2009, manteve-se estável. A taxa de crescimento foi de apenas 0,07% ao ano, portanto, que não está ocorrendo melhorias significativas no nível tecnológico dos sistemas de produção da laranja na microrregião do Guamá, o que pode estar associado à falta de crédito rural, assistência técnica e adoção de práticas de manejo (MACEDO et al., 2011)

2.4 FERTILIDADE DO SOLO

A fertilidade do solo tem se modificado ao longo dos anos devido a práticas de manejo que priorizavam a aplicação uniforme de insumos, visando a correções e ao suprimento de nutrientes para culturas de grãos, entre outras. Segundo Raij (1991), solos férteis permitiram o desenvolvimento de civilizações e a criação de riquezas em inúmeras regiões do mundo. Ainda hoje isso ocorre, enquanto ainda há terras férteis virgens a serem conquistadas. A pesquisa científica e tecnológica orientou o caminho para que uma agricultura, baseada em grande parte no uso de corretivos da acidez e de fertilizantes minerais, passasse a ocupar áreas antes

improdutivas. Ao mesmo tempo, solos desgastados puderam ter sua produtividade restaurada. A obtenção de informações a respeito da variabilidade espacial das propriedades do solo e das plantas é de grande importância para a avaliação da fertilidade; levantamento, mapeamento e classificação de solos; desenvolvimento de esquemas mais adequados de amostragens, entre outros, visando à melhoria das condições de manejo e o incremento de produtividade das culturas (SOUZA, 1992).

Segundo Webster e Olivier (1990), as muitas propriedades do solo variam continuamente no espaço e, conseqüentemente, os valores em locais mais próximos entre si tendem a serem próximos daqueles tomados mais distantes entre si, até uma distância limite, correspondente ao domínio dessas propriedades. Caso isso ocorra, os dados não podem ser tratados como independentes e um tratamento estatístico mais adequado é necessário. As variações nas propriedades do solo correlacionam-se com a posição no espaço, ou seja, dois valores tomados próximos um do outro tendem a ser mais semelhantes entre si que dois tomados mais afastadamente.

As dosagens convencionais de fertilizantes atualmente realizadas pelos agricultores implicam em aplicações excessivas em determinadas áreas do campo e insuficientes em outras. O conhecimento detalhado da variabilidade espacial dos atributos da fertilidade pode otimizar as aplicações localizadas de corretivos e fertilizantes, melhorando, dessa maneira, o controle do sistema de produção das culturas, reduzindo os custos gerados pelo uso de insumos e a degradação ambiental provocada pelo excesso desses nutrientes (ROCHA; LAMPARELLI, 1998).

Apesar de reconhecer a possibilidade de detectar e manejar a variabilidade de muitos atributos, como produtividade e qualidade da cultura, tipo de solo e nutrientes, plantas daninhas, pragas e doenças, Dampney e Moore (1999) afirmaram que o mapeamento confiável e não oneroso desses atributos apresenta muitos desafios. Embora mapas confiáveis de produtividade possam ser produzidos, outros atributos mapeados por sistemas comerciais de mapeamento nem sempre oferecem a mesma confiabilidade. A base dos levantamentos desses atributos pode ser inadequada para dar suporte à forma detalhada com que os resultados são apresentados aos produtores rurais. Por exemplo, o mapeamento de isolinhas de pH e nutrientes do solo é geralmente baseado em amostras de solo tiradas sobre uma malha de 100m, com mapas gerados a partir de programas de interpolação estatística. Sob esse aspecto, os autores ressaltaram ainda que, quando se utilizou análise geoestatística, alguns resultados mostraram que, geralmente, são necessários intervalos de amostragem entre 40 e 60m, para que se obtenham mapas confiáveis de pH e alguns nutrientes do solo. Complementando, Dampney e Moore (1999) afirmaram que, embora a amostragem intensiva possa ser custosa, devem ser reconhecidos os perigos de alguns

mapas interpolados, que exibem uma apresentação agradável, mas são potencialmente enganosos, pois foram produzidos a partir de dados insuficientes. O significado de ter informações perdidas em função de amostragem a espaçamentos mais largos, bem como o mérito da amostragem inteligente em determinadas zonas do campo, baseada em fatores tais como tipo de solo, topografia e padrões de crescimento e produtividade, são questões relevantes que devem ser analisadas.

Visando a um aproveitamento melhor dos recursos agrícolas, muitos trabalhos sobre manejo localizado de culturas estão sendo desenvolvidos, especialmente em relação à aplicação localizada de nutrientes no solo. De acordo com Malzer (1996), os métodos da AP podem ser utilizados com qualquer variável agrícola, apesar de sua origem ser o manejo de nutrientes e fertilidade do solo. Como afirmam Tweeten (1996) e Balastreire (1997), o impacto ambiental causado pela distribuição excessiva de fertilizantes é uma das razões para esses estudos, em virtude de problemas de lixiviação dos nutrientes, atingindo o lençol freático, e de carreação pelas chuvas, poluindo rios, córregos e lagos. Outra razão é o prejuízo econômico causado pela aplicação de fertilizante em excesso em alguns pontos e insuficiente em outros, diminuindo a produção, devido ao método convencional utilizado no cálculo de adubação, em que se realiza apenas uma amostragem representativa para a análise química de uma área, obtendo-se um valor médio de aplicação.

2.5 MACRONUTRIENTES E A CULTURA DA LARANJA

A absorção de nutrientes por uma determinada espécie vegetal é influenciada por diversos fatores, entre eles as condições climáticas como chuvas e temperaturas, as diferenças genéticas entre cultivares de uma mesma espécie, o teor de nutrientes no solo e os diversos tratamentos culturais (EMBRAPA, 2003).

A assimilação de nutrientes pelos citros ocorre durante todo o ano, embora seja mais intensa nas fases de florescimento e de formação de ramos e folhas novas (MALAVOLTA et al., 1997). A adubação assume relevante importância quando se constata a existência de grandes áreas citrícolas, em solos de baixa fertilidade, como os da Região Amazônica, Brasil e Veloso (1999), numa avaliação das propriedades químicas dos solos dessa região, observaram que 80% deles apresentavam níveis baixos de saturação por base, indicando a necessidade de calagem nessas áreas. Segundo esses mesmos autores, os solos são muito pobres em macro e

micronutrientes, necessitando de maiores quantidades de fertilizantes para condicionar uma boa produtividade às plantas.

O nitrogênio (N) é o nutriente mais importante para os citros, participando no crescimento e aspecto das plantas, na produção e qualidade dos frutos. E também no florescimento, pois neste período há uma intensa migração do elemento para as flores. Sua deficiência pode ser reconhecida pela perda uniforme de clorofila, resultando no amarelecimento foliar e diminuição da produção e crescimento das plantas. O excesso produz folhas verde-escuras anormalmente grandes e espessas e frutos menores com casca grossa. O fósforo (P) é mais requerido na ocasião do florescimento e de ramos novos. É essencial ao crescimento normal das plantas, desenvolvimento radicular, maturação e germinação das sementes e frutos. A falta do elemento é caracterizada pela coloração bronzeada das folhas e desfolha depois da floração, crescimento reduzido e raleamento da folhagem. O potássio (K) ajuda no crescimento e divisão celular de tecidos jovens, condiciona resistência a planta ao vento e secas, influi no tamanho, qualidade e poder de conservação dos frutos. A deficiência manifesta-se pelo pequeno tamanho dos frutos. Num estágio mais avançado, as folhas novas apresentam com tamanho reduzido. O excesso de potássio induz maturação retardada, frutos grandes com casca grossa e impede a absorção de nitrogênio, magnésio, cálcio e zinco.

O cálcio (Ca) é o nutriente que os citros absorvem em maior quantidade, sendo essencial para o desenvolvimento das plantas devido influenciar no desenvolvimento radicular, sendo fundamental na formação das folhas, frutos, ramos, troncos e raízes. Sua carência prejudica o sistema radicular que fica com poucas radículas, diminuindo o crescimento das plantas. Os frutos ficam pequenos, deformados e sem suco. Em doses maiores que o necessário o cálcio provoca deficiência de potássio e seus sintomas como pequeno tamanho e queda dos frutos. O magnésio (Mg) é muito importante na clorofila. Facilita assimilação do fósforo, servindo de transportador deste nutriente, torna as plantas mais resistentes ao frio e à seca. Os sintomas de deficiências ocorrem nas folhas velhas como uma clorose. Também prejudica o desenvolvimento radicular, além de provocar queda das folhas (MALAVOLTA, 1989).

2.6 GEOESTATÍSTICA

Todas as amostras retiradas de algum ponto no espaço ou no tempo devem ser consideradas como parte de uma função contínua e que são pontos discretos desta função. Por

isto, pode se dizer que todas as amostras são de algum modo, relacionadas com seus vizinhos, mesmo que não se conheça exatamente e matematicamente qual é a expressão para este relacionamento. Nessa condição, pode-se dizer que amostras vizinhas são mais parecidas umas com as outras do que amostras separadas por grandes distâncias. Obviamente isto é totalmente dependente da intensidade de amostragem em relação à escala de trabalho. Geoestatística é a maneira mais correta e contém as ferramentas ideais para se analisar dados que tem este tipo de comportamento, ou seja, cujos vizinhos próximos são mais semelhantes entre si do que aqueles separados por distâncias maiores (VIEIRA, 2000).

Quando uma propriedade do solo varia espacialmente com alguma organização, expressa pela dependência espacial, é possível aplicar a geoestatística, a exemplo do teor de um nutriente no solo. A avaliação da dependência espacial requer o uso de técnicas iniciadas quando Krige (1951) concluiu que, para haver sentido nas variâncias do fator analisado, há a necessidade de considerar as distâncias entre as amostras, de modo a estimar os valores em pontos localizados em distâncias intermediárias.

A condição absoluta para o uso de geoestatística é que se tenha as coordenadas geográficas da posição de onde as amostras foram retiradas. Sem o conhecimento das coordenadas dos pontos onde foram efetuadas as medidas, sejam elas obtidas por GPS, por métodos topográficos como distâncias a partir de uma origem arbitrária ou qualquer outro método não é possível fazer uso da Geoestatística (VIEIRA, 2000). Portanto, a incorporação de procedimentos geoestatísticos em um Sistema de Informações Geográficas, baseados em técnicas de Krigagem e/ou Simulação Condicional, são importantes, porque essa associação melhora os procedimentos tradicionais de tais sistemas devido à qualidade dos estimadores nas análises dos dados.

Quando uma quantidade muito grande de dados é coletada, como é o caso do mapeamento de colheita, em que são coletados pontos amostrais a cada um ou dois segundos, técnicas de suavização podem ser utilizados para evidenciar as tendências no mapa. Porém, quando os dados são esparsos, como nas amostragens do solo, é necessário o uso de técnicas de interpolação para produzir mapas (MENEGATTI; MOLIN, 2004). Assim a geoestatística engloba um conjunto de técnicas que possibilita mapear com melhor precisão as propriedades dos dados.

Segundo Asce (1990) a geoestatística é formada por inúmeras técnicas para a solução de problemas de estimativa envolvendo variáveis espaciais e tem sua base conceitual na interpretação espacial de uma variável regionalizada com realização particular de uma função aleatória.

Krige (1951) trabalhando com dados de concentração de ouro conclui que há necessidade de incluir as distâncias entre as observações, pois as informações oferecidas a partir de variâncias não são suficientes para explicar o fenômeno em estudo. Mais tarde, Matheron (1963) baseado nessas observações desenvolveu uma teoria denominada por ele de teoria das variáveis regionalizadas, contendo a base da geoestatística, conceituou variável regionalizada como uma função espacial numérica, que varia de um local para outro, com continuidade aparente e cuja variação não pode ser representada por uma função matemática simples.

Havendo a dependência espacial após a análise dos semivariogramas, pode-se estimar valores da propriedade em estudo para os locais não amostrados no campo, sem tendência e com variância mínima, por meio do método denominado “krigagem” (palavra utilizada na geoestatística como tradução da língua inglesa do termo “kriging” (ISAACS; SRIVASTAVA, 1989). A krigagem consiste de uma técnica de interpolação que faz ótima estimação de variáveis regionalizadas utilizando parâmetros dos semivariogramas e os valores das amostragens feitas (TRANGMAR et al., 1985)

Segundo Lamparelli et al. (2001) a geoestatística é um conjunto de técnicas que estima valores regionalizados e espacializados de atributos ou características de determinada área a ser estudada, utilizando como ferramenta básica a interpolação, gerando como produto um mapa da área segundo um atributo com estimativas não viciadas e de mínima variância.

2.7 VARIABILIDADE ESPACIAL

O estudo da variabilidade espacial de propriedades do solo tem grande importância não só na escolha de uma área experimental, locação das unidades experimentais, coleta de amostras e interpretação de resultados, mas também no levantamento e classificação de solos e nos esquemas de uso racional de fertilizantes. A variação das características do solo está relacionada com fatores de sua formação (SILVA et al., 2003) e com o efeito do manejo do solo (DOBERMANN; GEORGE, 1994).

As técnicas estatísticas empregadas na ciência agrícola, tradicionalmente pressupõem estacionaridade e independência dos dados. Propriedades do solo, no entanto, podem apresentar dependência espacial em escalas que variam da ordem de poucos metros a alguns quilômetros (WHITE et al. 1997; CASTRIGNANO et al., 2000; YANG et al., 2001). Além disso, é importante constatar que o solo é resultante da ação de alguns fatores que atuam em larga escala, cujo efeito é alterado por fatores que atuam em escalas menores; em diferentes níveis de

superposição de efeitos, o que proporciona um caráter hierárquico para a estrutura de variação das propriedades no espaço (GONÇALVES, 1997; GOOVAERTS, 1999; CHEVALLIER, 2000).

As propriedades do solo, além de variar no espaço, podem variar no tempo, para uma dada posição no espaço (BERNOUX, 1998). Esta variação, decorrente da ação de agentes naturais, assim como da ação do homem, deve se manifestar com maior intensidade em algumas propriedades que em outras (BRAGATO e PRIMAVERA, 1998; SLOT et al., 2001)

Mapa e Kumaragamage (1996) estudaram a variabilidade espacial de parâmetros físicos e químicos de um solo tropical, usando uma malha com espaçamento de 5 m e próximo ao centro da mesma tomaram uma “janela”, correspondente a uma quadrícula de 5 x 5 m e amostraram intensamente a cada 1 m. Constataram que o pH, apesar de apresentar o menor coeficiente de variação ajustou-se a uma distribuição log-normal. O pH não apresentou semivariograma estruturado. O efeito pepita foi sempre superior a 50% da variabilidade total. O ajuste dos modelos foi feito por regressão, minimizando a soma de quadrados dos desvios. Os autores sugerem manejo diferenciado nas subáreas, de acordo com os mapas de valores das propriedades, obtidos por meio de krigagem em blocos.

Mercante et al. (2003) afirmam que a variabilidade espacial dos solos não está sendo levada em consideração na produção agrícola. Tendo um maior conhecimento da variabilidade espacial da produtividade, das propriedades físicas do solo, da variabilidade temporal e fazendo-se o uso da agricultura de precisão, pode-se viabilizar uma agricultura moderna, economicamente competitiva e ecologicamente correta.

Oliveira et al. (1999) estudando a variabilidade espacial das propriedades químicas de um solo salino-sódico de origem aluvial, observaram que os maiores coeficientes de variação foram obtidos para magnésio, cálcio e condutividade elétrica (CE) e o menor, para o pH. A análise da dependência espacial mostrou que a percentagem de sódio trocável, potássio e cálcio revelaram forte dependência, enquanto a CTC, CE, Mg, Na e o pH acrescentaram moderada dependência espacial, com alcance variando de 12 (CE e CTC) a 27 m (Ca).

Bresler et al. (1981) verificaram uma maior variabilidade para o solo do que para os componentes de produção de amendoim, enquanto que Trangmar et al. (1987), verificaram uma maior variabilidade para a produção de arroz do que para as propriedades químicas do solo.

Em estudo com variabilidade de fósforo na planta e no solo, Camelo et al. (1993) concluíram que a planta atuou como integradora da variabilidade do solo e que a intensidade de amostragem poderia ser menor para o fósforo na planta do que no solo.

Silva et al. (2003) trabalhando com a variabilidade espacial na produtividade de milho, constataram que houve uma distribuição normal, sendo a variável fósforo disponível no solo, a

que apresentou maior variação no solo. Os mesmos autores constataram também que a produtividade de grãos e todas as características químicas avaliadas apresentaram dependência espacial forte à moderada, evidenciando a importância da agricultura de precisão.

Barbieri et al. (2002) estudaram a variabilidade espacial de fósforo, potássio e soma de bases em área sob cultivo de cana-de-açúcar. Por meio da geoestatística os semivariogramas ajustaram-se ao modelo exponencial para as variáveis fósforo e potássio, e esférico para a soma de bases, com valores de alcance de 711 m, 743 m, e 587 m para o fósforo, potássio e soma de bases, respectivamente. A partir dessas informações os autores sugerem que em futuras amostragens para avaliação de propriedades de solo em condições semelhantes, utilize-se malha suficiente para cobrir toda a área de interesse, com o intervalo de amostragem igual ao alcance da dependência espacial, o que estaria associando a menor esforço de amostragem, com maior representatividade, além de permitir a interpolação entre pontos amostrais e a elaboração de mapa sobre toda a área. Os resultados indicam que a distância entre pontos de amostragem do solo para se conhecer a variabilidade espacial dos teores de fósforo e potássio, deve ser da ordem de 743 m e para a soma de bases 587 m, respectivamente. Finalmente, concluem que todos os atributos estudados apresentaram grau da dependência espacial moderada.

De acordo com Mulla et al. (1990) a variabilidade espacial dos atributos do solo influencia na eficiência do manejo e no desenvolvimento da cultura. Portanto, o conhecimento da variabilidade espacial das propriedades do solo é um importante passo para que se possa empregar um manejo mais adequado com relação à realização de práticas agrícolas, estratégia de amostragem e planejamento agrícola eficiente (BHATII et al., 1991).

2.8- APLICAÇÃO LOCALIZADA DE INSUMOS

A dosagem, época e metodologia empregada na aplicação de determinado insumo interferem diretamente sobre a sua resposta final na produtividade. Em virtude disso, a tomada de decisão durante o processo de implantação e condução das atividades de manejo localizado em uma área não pode limitar-se somente em modelos de cálculos de quantidade, devendo-se dar atenção aos demais critérios a serem abordados.

A prática de adubação de solos é considerada uma das principais etapas no processo de produção agrícola. A sua determinação é feita, principalmente, com base em dados de análises química do solo, as quais são coletadas de forma a representar de maneira mais fiel a fertilidade da área em questão, porém, buscando-se sempre uma razão econômica.

O manejo localizado vem se destacando como uma forma de gerenciamento localizado da lavoura, realizada a partir da disponibilização de ferramentas que permitem a identificação da variabilidade dos atributos da planta e a sua intervenção de forma localizada. Molin (1998) reforça a importância do sistema de localização GPS (sistema de posicionamento global) como responsável pelo impulso do manejo localizado. O sistema amostragem de solo em grade é uma técnica que vem sendo utilizada com sucesso para detecção da variabilidade dos atributos do solo, que consiste no georreferenciamento das amostras do solo a partir do uso do GPS.

Para Hopkins et al. (1999), as práticas de manejo agrícola localizado têm sido identificadas como detentoras da promessa de agredir menos o ambiente e elevar os retornos líquidos. A intenção do manejo localizado, entretanto, somente será concretizada quando as decisões a serem tomadas baseadas em informações espaciais. O conhecimento convencional, ratificado por Dampney e Moore (1999), dita que os produtores devem aguardar o acúmulo de informações dos dados espaciais coletados antes de adotar práticas de manejo localizado na planta. A soma de toda informação disponível, ainda conforme Hopkins et al. (1999), pode ser insuficiente para reduzir a incerteza a um nível mínimo com respeito à magnitude da variabilidade que, se existente, deve ou não ser objeto de técnicas de manejo localizado.

A aplicação de fertilizantes sólidos em taxa variável é atualmente estudada para o uso em pomares (NIDERHÖRLZER, 2007). Zaman et al. (2006) correlacionaram o volume de copa das plantas de citros com a produtividade. Os autores relatam que a partir do mapeamento do volume da copa da planta e aplicação em dose variável de fertilizante na planta em um pomar comercial, a quantidade a ser aplicada de N e K foi reduzida em 38%, evitando a falta de nutriente disponível para a planta, para isto, são necessárias melhorias na capacidade de processamento e resposta do equipamento utilizado, para garantir, a acurácia na adubação localizada (SHUMANN et al., 2006).

A aplicação localizada de insumos tem sido amplamente estudada e aperfeiçoada para utilização na cultura do citros na Flórida. Esta técnica é foco dos estudos de Miller et al. (2003) e Schumann et al. (2006) que adaptaram a taxa variada a aplicação ou VRT (variable rate technology), utilizado originalmente em outras culturas nas características de um pomar cítrico. Geralmente, essa nova forma de aplicação de insumos funciona basicamente utilizando ferramentas capazes de reconhecer e localizar a variabilidade espacial, seja ela do solo, de características das plantas ou de condições ambientais.

A utilização de taxa variada tem sido observada, principalmente, na aplicação de fertilizantes granulares, mas o conceito pode ser extrapolado a qualquer outro insumo como exemplo, herbicidas, inseticidas ou mesmo água. Tumbo et al. (2006) avaliaram um controlador para aplicação de nematóides em infestações em reboleiras em pomares de citros. Ambos os

trabalhos objetivaram a redução do impacto ambiental causado pelo excesso de defensivos. Esta linha de pesquisa tem extrema importância, particularmente, na flórida onde os solos são de textura arenosa o que facilita a lixiviação de desses elementos químicos até os lençóis freáticos.

Resultados obtidos por Menegatti et al. (2004) mostraram uma redução no consumo 35% para o calcário e 39% para o fósforo com aplicação em taxa variada, quando comparada com a aplicação em taxa fixa. A tecnologia de manejo localizado vai além da aplicação em taxa variada, a qual deve ser encarada como uma nova maneira de gerenciar grandes áreas e não apenas como uma recomendação diferente da tradicional. A adoção de outras tecnologias complementares pode facilitar e melhorar a implementação do manejo localizado.

Fietz et al. (2000) geraram um mapa de aplicação localizada de calcário em uma área experimental, onde foram coletados 126 pontos amostrais, com espaçamento regular de 30 m, os resultados apresentaram nível moderado de dependência espacial, com alcance de 165 m e concluíram que a geoestatística pode ser uma valiosa ferramenta para a interpolação de dados e confecção de mapas em agricultura de precisão.

Beraldo et al. (2000) verificaram que se a aplicação fosse baseada na quantidade recomendada pela média, 39 a 45 % da área receberiam dose acima da necessária, 42 a 55 % receberiam doses abaixo e apenas 10 a 14 % da área total receberia doses conforme a recomendada pela média. Portanto, concluíram que há necessidade da aplicação diferenciada na área em estudo.

2.9 MAPEAMENTO DA PRODUTIVIDADE

A correta interpretação de dados referentes à variabilidade espacial das lavouras é a etapa mais trabalhosa e mais importante do processo de implantação da AP, sempre visando à busca dos responsáveis pela variabilidade e objetivando a sua intervenção quando viável ou a convivência quando esses fatores não permitem intervenção prática e econômica (MOLIN, 2000)

Um sistema de medição da produtividade tem como função medir direta ou indiretamente a produção de uma cultura (BALASTREIRE et al. 1997). Segundo Wagner e Schrock (1989) os sistemas da produtividade, de posicionamento e de aquisição de dados são essenciais para o mapeamento de produtividade.

Para Queiroz et al. (2000) os mapas de produtividade da cultura podem ser utilizados como o ponto de partida, a fim de avaliar as causas da variabilidade de produtividade. Sendo assim, seu uso é imprescindível para a agricultura de precisão, pois identifica e quantifica a

variabilidade espacial da produtividade das culturas e auxilia os processos de gerenciamento localizado (HAN et al., 1994). De acordo com Clark (1999), a observação e análise dos mapas de produtividade, usualmente, conduzem ao desejo de entender os fatores que afetam a produtividade, de maneira que o gerenciamento das práticas no campo possa ser adequado para o desenvolvimento da cultura. Concordando com Molin (2000), que observou que a produtividade apresenta variabilidade temporal e seu comportamento espacial não se repete com as diferentes culturas. Contudo, as informações contidas nos mapas de produtividade são além de imprescindíveis e insubstituíveis.

Molin e Mascarim (2007) obtiveram resultados válidos quando geraram mapas de produtividade para uma lavoura de citros, desenvolvendo um método não intrusivo, seguindo o processo vigente de colheita, em que as frutas colhidas em uma área específica são depositadas em sacolões que têm posições georreferenciadas. Os autores identificaram regiões de alta e baixa produtividade, demonstrando a não uniformidade e a necessidade de tratamentos diferenciados dentro da lavoura.

Colaço et al. (2008) testaram a validade do método de mapas de produtividade evidenciando a sua capacidade em revelar manchas de produtividade relacionadas à ocorrência de doenças como declínio dos citros e HLB (Huanglongbing, ou ex-greening). Shueller et al. (1999) realizaram mapas de maneira similar, georeferenciando no campo os contêineres utilizados na colheita manual em um pomar comercial na Florida. Os autores alegam o baixo custo da geração dos mapas e confiabilidade das informações. Farias et al. (2003) criaram mapas de produtividade a partir de coleta de amostras de frutas em 101 plantas em uma quadra localizada em São Paulo. Posteriormente os dados foram interpolados a partir de técnicas geoestatísticas e estudando a dependência espacial entre as amostras de forma a gerar a superfície de um mapa, onde todos os seus pontos apresentam valores de produtividade.

Na citricultura, são encontrados poucos estudos relativos a monitores de produtividade desenvolvidos para as colhedoras. Mas algumas tecnologias tem sido adaptadas especialmente às características dessa cultura, e diferentes métodos de coleta de dados tem sido pesquisados. Tumbo et al. (2002) desenvolveram um monitor de produtividade adaptado à colheita manual, que registra as coordenadas e a massa dos contêineres no campo antes dos mesmos serem depositados nos transbordos. Bora et al. (2006) testaram sensores de fluxo de massa em condições controladas para aquisição de dados. Esse tipo de sensor se mostrou adequado para coleta de dados em citros dado à acurácia da informação gerada. Utilizando visão artificial, Annamalai e Lee (2003) criaram um algoritmo capaz de determinar número de frutos a partir de imagens da cultura. O sistema é composto pelo algoritmo, um GPS, um dispositivo medidor de distancia e visão artificial instalada na colhedora, e registra as estimativas de produtividade que

serão armazenadas e formarão o mapa de produtividade. Kane e Lee (2007) utilizaram imagens na banda do infravermelho próximo para a detecção de frutos nas árvores de citros. O processamento da imagem pode de gerar mapas de produtividade bastante detalhados, mas alguns fatores são limitantes no uso dessa técnica. Frutos posicionados no interior da copa ou podem não ser visíveis à câmera e frutos agrupados tornam difícil a contagem exata do número de laranjas pelo sistema processador de imagens.

No Brasil alguns entraves são encontrados na geração de mapas de produtividade, uma vez que a colheita é totalmente manual. Mascarin (2006) propõem um método de geração dos mapas adaptado ao sistema de colheita encontrado em São Paulo. Este método se baseia no georeferenciamento dos sacolões utilizados na colheita e geração de pontos de produtividade de acordo com o volume e área de representação dos mesmos.

Segundo Arvus (2007), os sistemas de mapeamento da colheita são capazes de armazenar as informações relativas a produtividade durante o processo da colheita, georeferenciando os dados e adicionando as características da safra colhida. Os mapas resultantes mostram explicitamente as áreas com variação da produtividade, sendo este fator determinante nas decisões de gerenciamento do manejo de campo.

2.10 SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL (GPS)

Um dos requisitos para a aplicação da agricultura de precisão é a utilização de um sistema de posicionamento que permita a localização georeferenciada com precisão suficiente em todos os pontos e porções escolhidas dentro da área agrícola. Um sistema que atende esse requisito foi desenvolvido pelo departamento de defesa dos estados Unidos da América do Norte e recebeu o nome de sistema de posicionamento global-GPS (global positioning system).

O sistema de posicionamento global consiste na triangulação de um conjunto de satélites, normalmente 24 satélites, que por meio de cálculo da distância entre elas baseada na diferença de tempo de transmissão dos sinais entre receptor do usuário e os satélites para o posicionamento, porém para aumentar a precisão de tempo e posicionamento, normalmente os receptores utilizam quatro satélites (MOLIN, 1998)

A determinação do tempo que o sinal leva desde que sai do satélite até que seja captado pelo aparelho receptor é feito gerando-se no aparelho receptor o mesmo tipo de sinal emitido pelo satélite. A diferença de sincronismo entre os dois sinais oferece a medida do tempo que o sinal levou

para se deslocar do satélite até o receptor. O sinal que é emitido em cada satélite é codificado de tal forma que o aparelho receptor consegue identificar os sinais dos diferentes satélites (DIAS, 1998).

Segundo Molin (1997b) tem-se confundido agricultura de precisão com GPS. A agricultura de precisão é uma filosofia de trabalho sendo adotada por agricultores em vários países e o GPS é apenas uma ferramenta de trabalho disponível com grande utilidade na obtenção dos objetivos dessa nova filosofia de exploração e administração da produção.

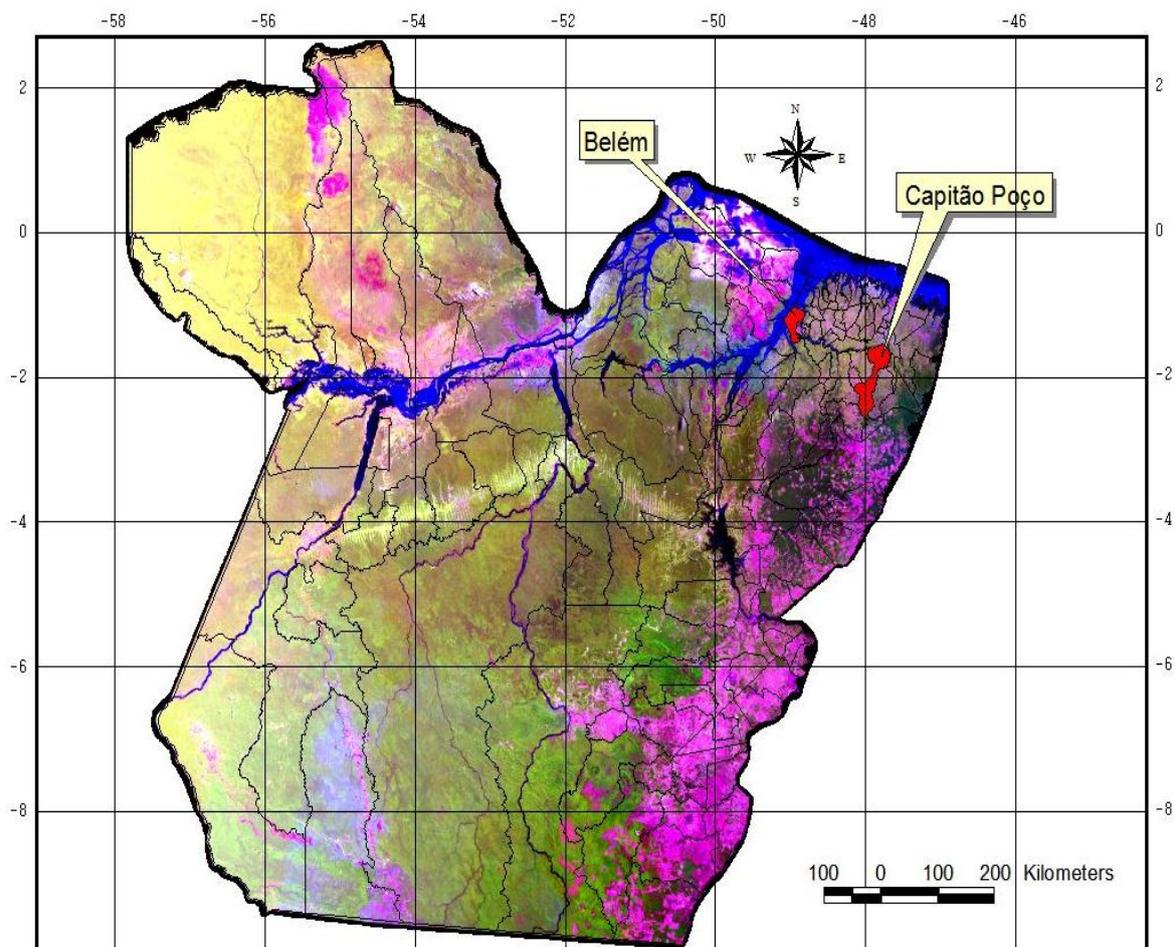
Molin (1997b) afirma que com o uso de um receptor GPS em colhedora ou em trator, é possível obter suas coordenadas de localização com erros que variam de 50 cm a 5 metros, uma acurácia considerada suficiente para as aplicações agrícolas.

3 - MATERIAL E MÉTODOS

3.1- LOCALIZAÇÃO

A área experimental está localizada no município de Capitão-Poço, PA, mesorregião do Nordeste Paraense, microrregião do Guamá (Figura 1), na Fazenda CITROPAR S.A, compreendida nas coordenadas geográficas: 01° 48' 38" de latitude Sul, 47° 11' 38" de longitude Oeste de Greenwich (sede da fazenda), apresentando solo do tipo Latossolo Amarelo álico, textura média, clima tipo Ami, segundo a classificação de Köppen, apresentando os maiores índices de pluviosidade de janeiro a maio e os menores de agosto a novembro. A área está cultivada com aproximadamente 1 milhão de laranjeiras, com predominância, da variedade Pêra-Rio (*Citrus sinensis*) (90%) plantadas em espaçamentos de 5 x 7 m.

Figura 1 -. Imagem de satélite do Estado do Pará, destacando a capital do estado, Belém, e o município de Capitão Poço (resolução espacial de 30 m).



3.1.1 IMAGENS

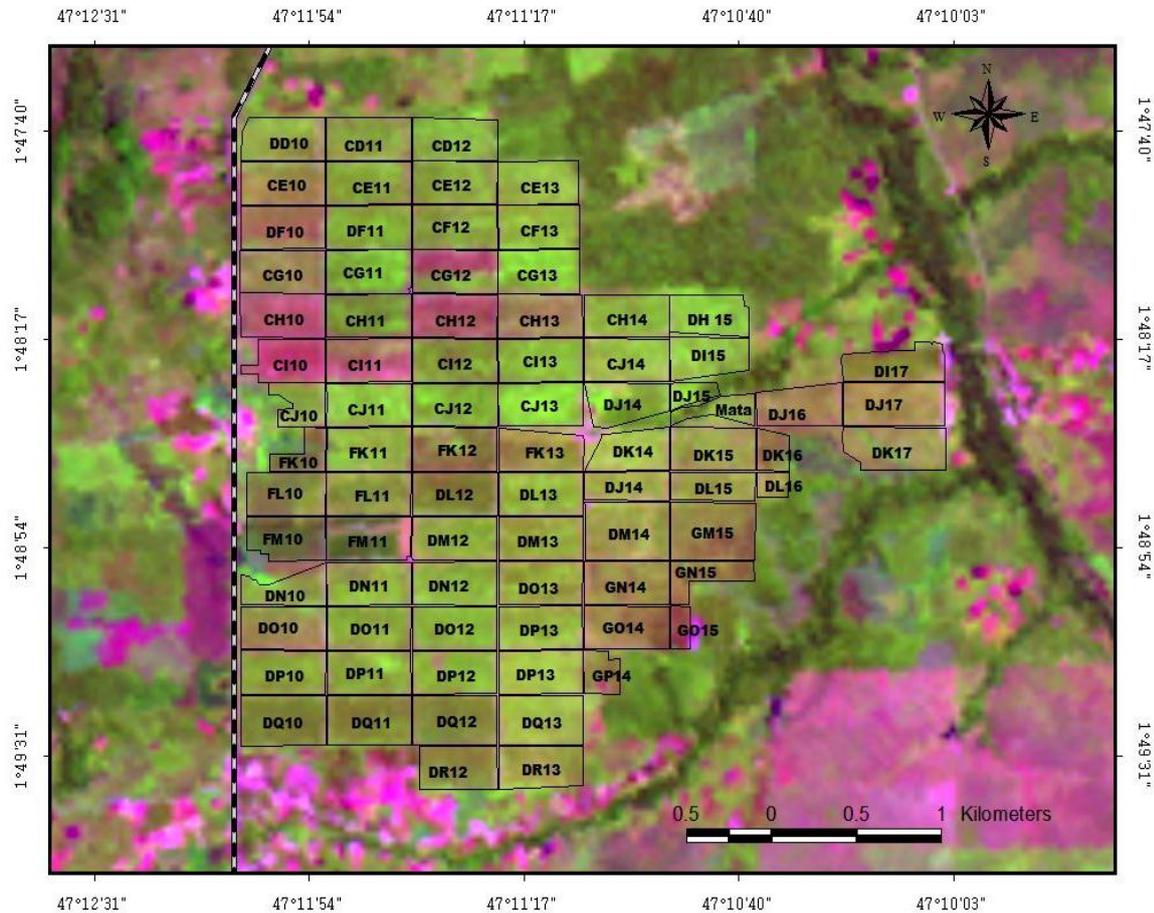
As imagens foram obtidas pelo satélite Landsat/TM com uma resolução espectral de 0.45-0.52 μm , resolução espacial de 30 m e resolução radiométrica de 256 níveis. (Figuras 1 e 2). Essas imagens representam formas de captura indireta de informação espacial. Armazenadas como matrizes, cada elemento de imagem, denominado *pixel*, tem um valor proporcional à energia eletromagnética refletida ou emitida pela área da superfície terrestre correspondente.

3.1.2 GEORREFERENCIAMENTO DOS TALHÕES

Os pontos foram coletados por um receptor GPS V Plus, fabricado pela Garmin. Esse modelo, cujo uso atende principalmente usuários terrestres e náuticos, possui características predominantes padrões, pois seu sistema de acesso e operação de tarefas é igual, ou

extremamente semelhante, a outros receptores. Por esse motivo o GPS V Plus foi escolhido como o receptor para coleta dos pontos para georreferenciar os talhões (Figura 2).

Figura 2 – Mapa de localização dos talhões de citros da fazenda Citropar – Capitão Poço, PA.



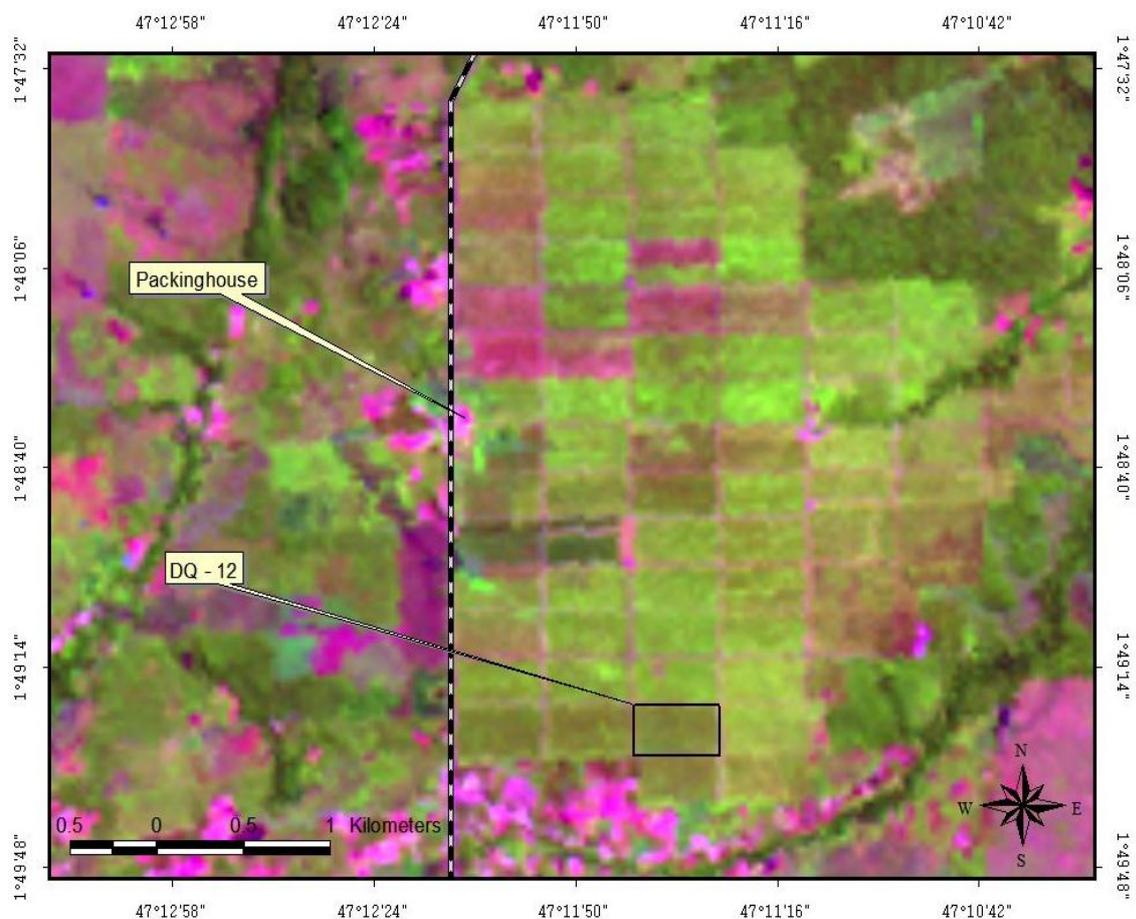
Um ponto é uma “posição virtual” baseada no cruzamento de coordenadas (latitude e longitude), podendo ser criado de várias maneiras, entretanto, originando sempre uma posição com coordenadas específicas, podendo ou não ser enriquecido com comentários e símbolos.

As coordenadas (ponto) utilizadas no trabalho foram transformadas para o sistema UTM (Universal Transversa de Mercator), seguindo o sistema das coordenadas retangulares. Esse sistema de coordenadas estabelece a divisão da terra em 60 fusos de 6° cada. O fuso tem este tamanho para garantir níveis aceitáveis de deformação.

3.2- DESCRIÇÃO DO POMAR SELECIONADO E AMOSTRAGEM

A quadra selecionada foi denominada pela CITROPAR de DQ-12 é composta de laranjeiras da variedade “Pêra” (*Citrus sinensis* [L.] Osb.) enxertada em limão-cravo (*Citrus limonia* Osb.), plantadas em um espaçamento de 7 x 5 m, sendo que o talhão possui 4600 plantas em uma área de 16,1 hectares. No ano de 2007 foram selecionadas 120 plantas para medição do tamanho e peso do fruto. Já no ano de 2008 foram selecionadas 4600 plantas para medição do diâmetro e 285 plantas para medição do peso. Finalizando, no ano de 2009 foram selecionadas 2186 plantas para medição do diâmetro e 285 plantas para medição do peso. A digitalização das plantas da quadra foi feita no software SUFER 8.0, o qual permitiu que fosse construída uma base da imagem. Essa base toma como referência os pontos coletados pelo GPS nas quadras (Figura 3).

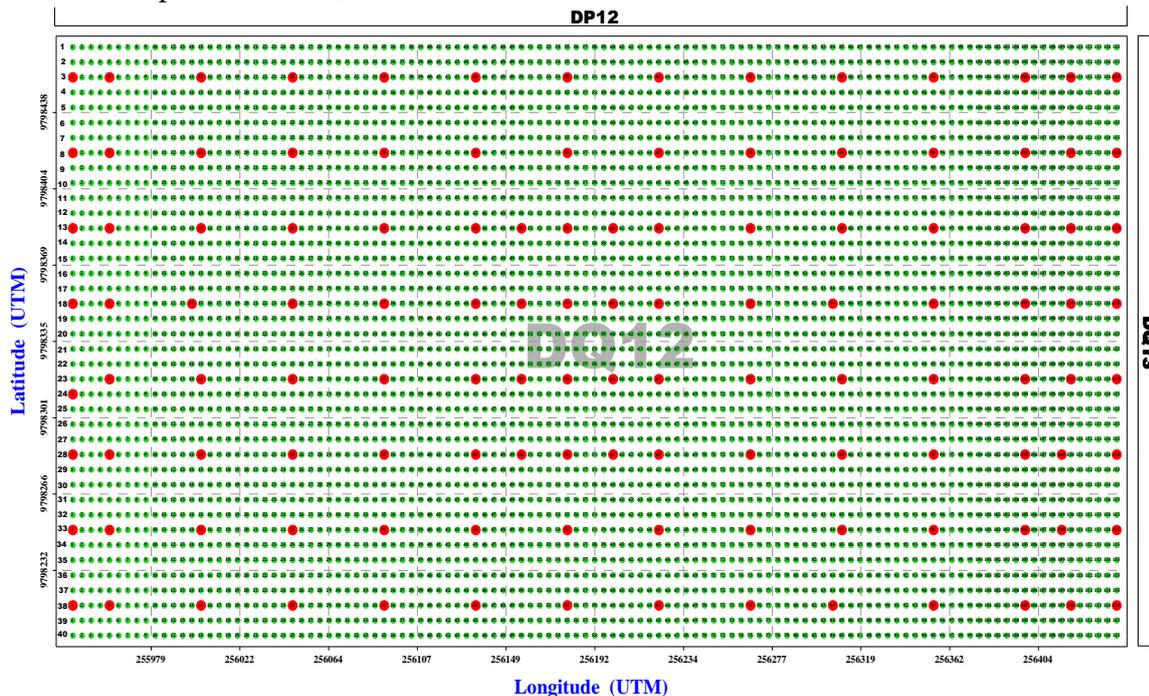
Figura 3. Mapa de localização da Área de estudo (talhão DQ12) – Capitão Poço, PA.



Os pontos usados para construção da base da imagem foi a maior e a menor coordenada (latitude e longitude) do talhão, seguindo a metodologia de Farias et al. (2003). A quadra DQ-12

foi georreferenciada e deste universo de laranjeiras foram selecionadas para a amostragem 120 plantas em 2007, 4600 plantas no ano de 2008 e 2186 plantas no ano de 2009. Cada planta teve sua localização espacial conhecida e conseqüentemente todas as informações das amostragens com precisão e confiabilidade (**Figura 4**).

Figura 4 – Mapa de localização espacial das plantas (latitude e longitude) do talhão DQ12, mostrando o esquema dos pontos (●) de localização das amostragens de produtividade, diâmetro dos frutos e coleta de solos nos anos de 2007 a 2009.



3.3- AMOSTRAGEM E ANÁLISE DO SOLO

A amostragem foi efetuada no início de setembro de 2007, sendo selecionada 120 plantas e coletada amostras de solo, na profundidade de 0-20 cm, considerando a projeção da copa das plantas em todos os quadrantes num total de 8 amostras simples por planta para obtenção de uma amostra composta. No ano de 2009 foram selecionadas 100 plantas e coletada amostras de solo, na mesma profundidade. Após a coleta as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos devidamente identificados. As amostras foram secas ao ar em ambiente protegido de contaminações, até atingirem peso constante. Após este procedimento foram realizadas as análises química do solo no laboratório da Universidade Federal Rural da Amazônia de acordo com Embrapa (1999), constando das seguintes determinações: pH (H₂O e KCl), P (Mehlich), K, Ca+Mg, Al, H+Al.

3.4. ESTATÍSTICA DESCRITIVA

O objetivo primordial desta análise foi de caracterizar individualmente as variáveis quanto aos seus valores de tendência central e dispersão, por meio do estudo das suas distribuições de frequência. Para se atingir esse objetivo, os valores das diversas variáveis estudadas foram ordenados e analisados de acordo com seus histogramas, caracterizando-os com a média (\hat{m}), variância (s^2), erro padrão da média (EPM), coeficiente de variação (CV%), assimetria (μ_3) e curtose (μ_4).

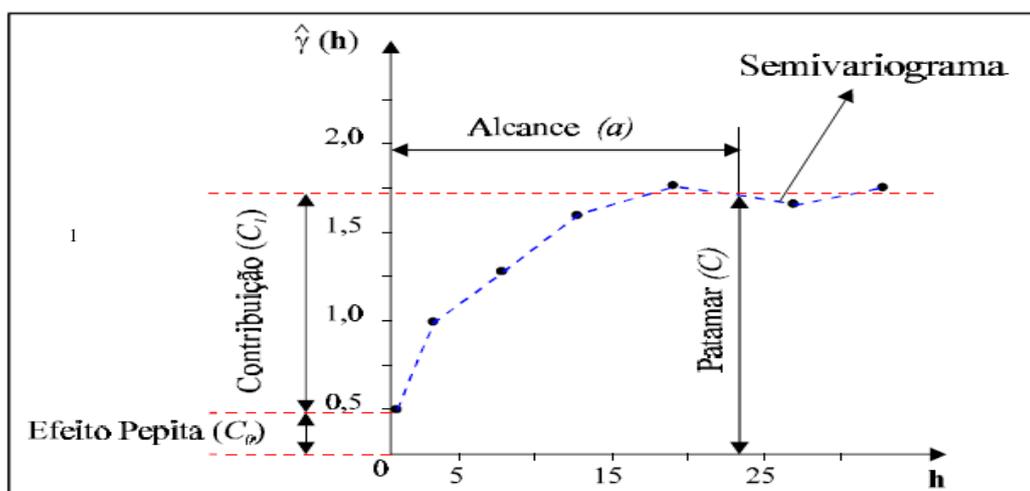
3.5. GEOESTATÍSTICA DOS DADOS

Os procedimentos a serem descritos utilizam-se da informação da posição da amostra e o valor que a variável assume em cada ponto. Desta forma, de cada amostra deve-se ter o valor da variável e as coordenadas do ponto onde foi coletada. As coordenadas devem ser expressas em um sistema de unidades que permita o cálculo da distância entre as amostras.

3.5.1 - ANÁLISE VARIOGRÁFICA: SEMIVARIOGRAMA EXPERIMENTAL

Antes de se prosseguir com o estudo, serão definidos os parâmetros e características do semivariograma, com base no esquema mostrado na Figura 5.

FIGURA 5. ESQUEMA DO SEMIVARIOGRAMA EXPERIMENTAL (ADAPTADO DE GUERRA, 1988).



Esquemáticamente a Figura 5 representa:

Alcance (a): À medida que a distância entre os pares aumenta, a variabilidade tenderá a aumentar até atingir um determinado nível. A distância onde o variograma atinge este nível é denominado de alcance ou “range”.

Patamar (C): Representa o nível de variabilidade onde o variograma se estabiliza. Este patamar deve ser teoricamente igual à variância amostral. Este parâmetro é também denominado “Sill”.

Variância Espacial (C_1): Representa as diferenças espaciais entre os valores de uma variável tomada em dois pontos separados por distâncias cada vez maiores.

Efeito Pepita (C_0): Para distância igual a zero ($h=0$), o variograma deveria apresentar variabilidade nula. Entretanto, vários fatores como erros de amostragens, erros de medidas ou ainda microregionalizações da variável em análise, causam uma descontinuidade na origem do variograma, denominado de efeito pepita (“nugget effect”).

3.5.2 EQUAÇÃO DE CÁLCULO

O semivariograma é, por definição,

$$\gamma(h) = 1/2 E[Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2, \quad (1)$$

e pode ser estimado através de

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

onde $N(h)$ é o número de pares de valores medidos $Z(x_i)$, $Z(x_i+h)$, separados por um vetor h . O gráfico de $\gamma^*(h)$ “versus” os valores correspondentes de h , chamado semivariograma, é uma função do vetor h , e portanto depende da magnitude e direção de h . Quando o gráfico do semivariograma é idêntico para qualquer direção, ele é chamado isotrópico e representa uma situação bem mais simples do que quando é anisotrópico, isto é, muda de forma nas diferentes direções. É óbvio que isto depende muito da propriedade em estudo e das dimensões da área amostrada.

Para melhor compreender e interpretar os semivariogramas é preciso que se atente ao fato de que, para sua construção, não se utilizam os valores observados das variáveis aleatórias e sim as diferenças entre tais valores separados por uma determinada distância.

Desta forma, conhecendo a distância que separa dois pontos estima-se o valor da variância da diferença das variáveis aleatórias em estudo nos pontos. Isto só faz sentido

admitindo-se a hipótese intrínseca de que tal variância não depende da localização dos pontos, mas apenas da distância entre eles.

Para malhas regulares, o semivariograma amostral é obtido da seguinte forma: 1) fixa-se um distância h (“lag”); 2) formam-se todos os pares de pontos separados por tal distância; 3) aplica-se a expressão do estimador adotado obtendo-se a semivariância estimada e 4) os pares de pontos formados pelas distâncias (eixo X) e semivariâncias (eixo Y) são assinaladas em um gráfico.

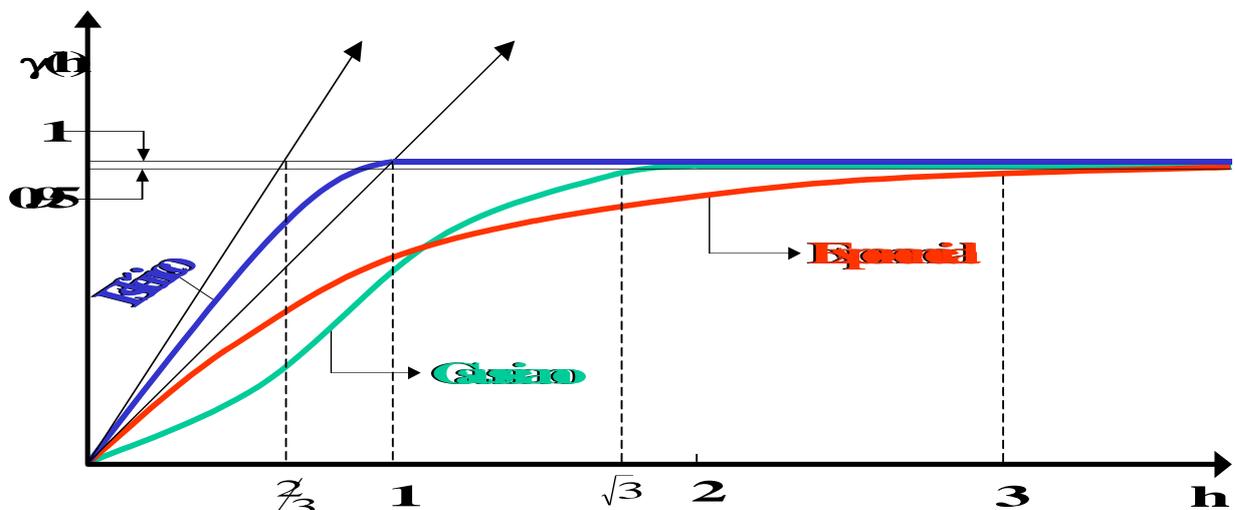
3.5.3 - MODELOS

Dependendo do comportamento de $\gamma(h)$ para altos valores de h , os modelos podem ser classificados em: modelos com patamar (“Sill”) e modelos sem patamar.

I) MODELOS COM PATAMAR

Os modelos com patamar são normalmente ajustes que representam a estacionaridade de segunda ordem. A semivariância aumenta à medida que aumenta a distância entre as amostras, até atingir um patamar (“Sill”), onde se estabiliza. Este patamar deve ser teoricamente igual à variância amostral. A distância em que o semivariograma atinge o patamar é denominado de alcance (“range”), que corresponde ao raio de dependência da variável. Os modelos mais utilizados dentro deste grupo estão representados na Figura 6.

FIGURA 6. SEMIVARIOGRAMAS COM PATAMAR (ADAPTADO DE RENDU, 1978).



Na Figura 6 percebe-se que para uma mesma distância h , os três modelos apresentam variações diferentes (eixo $\gamma(h)$), ou de outra forma, as distâncias onde a tangente na origem

intercepta o patamar são diferentes. Assim, na existência de grande continuidade deve-se preferir o modelo gaussiano.

O modelo esférico alcança um patamar a uma distância h finita, enquanto o modelo exponencial alcança seu patamar somente assintoticamente. Contudo, devido às flutuações experimentais do variograma, não serão feitas distinções entre um patamar efetivo e um patamar assintótico.

II) - MODELO ESFÉRICO

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[\frac{3}{2} \left(\frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right] \quad 0 < h < a \quad (3)$$

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \quad h > a.$$

O modelo esférico é obtido selecionando-se os valores do efeito pepita, C_0 , e do patamar, C_1 , depois passando-se uma reta que intercepte o eixo-y em C_0 e seja tangente aos primeiros pontos próximos de $h=0$. Essa tangente cruzará o patamar à distância, $a'=2/3 a$. Assim, o alcance, a , será $a=3a'/2$. O modelo esférico é linear até aproximadamente $1/3 a$.

III) . MODELO EXPONENCIAL

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[1 - \exp\left(-3 \frac{h}{a}\right) \right] \quad 0 < h < d \quad (4)$$

onde d é a máxima distância na qual o semivariograma é definido. Uma diferença fundamental entre o modelo exponencial e o esférico é que o exponencial atinge o patamar apenas assintoticamente, enquanto que o modelo esférico o atinge no valor do alcance. O parâmetro a é determinado visualmente como a distância após a qual o semivariograma se estabiliza. Os parâmetros C_0 e C_1 para os modelos exponencial e gaussiano são determinados da mesma maneira que para o esférico.

IV . MODELO GAUSSIANO

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[1 - \exp\left(-3 \left(\frac{h}{a}\right)^2\right) \right] \quad 0 < h < d, \quad (5)$$

A função é parabólica próxima à origem. Este modelo apresenta um alcance extenso e o patamar semelhante ao modelo exponencial.

V. MODELO ALEATÓRIO (EFEITO PEPITA PURO)

$$\gamma(h) = C, \quad \text{para qualquer } h. \quad (6)$$

À medida que aumenta a descontinuidade na origem do semivariograma, mais aleatório é o fenômeno que originou a variável em análise. Esta característica decorre de uma provável regionalização, inferior à escala de trabalho da malha de amostragem e/ou às variações espúrias associadas com a coleta e medição das amostras.

3.5.4. ESTIMAÇÃO: O PREDITOR DE KRIGAGEM

Muitas vezes o interesse da análise não se esgota em modelar a estrutura de variabilidade. Em diversas situações o interesse está na estimação de valores em pontos não amostrados, seja por um interesse local ou pela intenção de obter um detalhamento da área que vai além do permitido pela amostra. Nestes casos é preciso lançar mão de algum interpolador (preditor) dentre os existentes na literatura.

A proposta de predição Geoestatística é a krigagem. Uma vez que as observações são dependentes, ao menos a certas distâncias, utilizam-se os vizinhos, de forma que o preditor é, simplesmente, uma média ponderada dos valores observados na vizinhança.

Supondo-se que se queira estimar valores, z^* , para qualquer local, x_0 , onde não se tem valores medidos, e que a estimativa deve ser uma combinação linear dos valores medidos, tem-se:

$$z^*(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i z(x_i), \quad (7)$$

onde N é o número de valores medidos, $z(x_i)$, envolvidos na estimativa, e λ_i são os pesos associados a cada valor medido, $z(x_i)$. Tomando-se $z(x_i)$ como uma realização da função aleatória $Z(x_i)$, e, por hora, assumindo estacionaridade de ordem 2, o estimador fica:

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(x_i). \quad (8)$$

Note-se que o estimador (8) não apresenta qualquer novidade, pois, praticamente, todos os métodos de interpolação seguem esta forma. Por exemplo, na interpolação linear os pesos são todos iguais a $1/N$ e na interpolação baseada no inverso do quadrado das distâncias, os pesos recebem valores variáveis de acordo com o inverso do quadrado da distância que separa o valor interpolado dos valores medidos usados. No método da krigagem, os pesos são variáveis de acordo com a variabilidade espacial expressa no semivariograma.

3.5.5 CONDIÇÕES REQUERIDAS

Para que o estimador seja ótimo, ele não pode ser tendencioso e deve ter variância mínima. Matematicamente,

$$E \{Z^*(x_0) - Z(x_0)\} = 0 \quad (9)$$

e

$$VAR \{Z^*(x_0) - Z(x_0)\} = E \{[Z^*(x_0) - Z(x_0)]^2\} = \text{mínima}, \quad \text{mínima.} \quad (10)$$

Estas duas condições devem ser rigorosamente satisfeitas. A condição de não tendência significa que, 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.

Pode parecer estranho quando se fala em diferenças entre valor estimado e medido, quando o propósito da krigagem é justamente estimar valores para locais onde estes não foram medidos. Porém, as condições impostas nas equações (9) e (10), são feitas tendo-se em mente o que poderia acontecer se o valor naquele ponto fosse conhecido. Em outras palavras, o objetivo é que a estimativa represente, o melhor possível, o que seria o valor medido para aquele local.

Entretanto esta expressão não é exclusiva deste preditor. O que diferencia a krigagem de outros métodos de interpolação é o critério utilizado para obtenção dos pesos λ_i .

Mas não apenas a distância dos vizinhos ao ponto a ser estimado deve ser considerada. Também as distâncias entre os vizinhos devem influir na atribuição dos pesos. Vizinhos agrupados devem ter importância individual relativamente menor do que aqueles isolados.

3.6 - PROGRAMAS UTILIZADOS NAS ANÁLISES

Na análise dos dados testaram-se vários programas para obtenção do semivariograma, entre os quais: o módulo PREVAR do Geo-EAS, VARIOWIN e o GEOESTAT, programa

desenvolvido pelo pesquisador Sidney Rosa Vieira (IAC - Campinas) e modificado para Windows pelo Professor José Carlos Barbosa do Departamento de Ciências Exatas da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP - Jaboticabal. O programa adotado foi o GEOESTAT pela facilidade de utilização, formatação e elaboração gráfica e também por apresentar a conveniência de não ser programa tipo “caixa-preta”.

Quando o interesse é ter uma idéia visual do comportamento das variáveis na área, utiliza-se uma representação gráfica onde as coordenadas dos pontos e os valores da variável são representados em um sistema. Este mapa é construído a partir de uma malha obtida por aplicações sucessivas da krigagem.

A representação pode ser tridimensional, através do desenho de uma superfície onde o eixo Z corresponde ao valor do atributo em cada ponto identificado nos eixos X e Y. Outra opção é uma representação bidimensional a partir da confecção de mapas de isolinhas (contornos). Esses mapas foram gerados pelo programa SURFER 8.0 para Windows que desenha mapas com as informações obtidas no semivariograma.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas amostragens realizadas para estimar o potencial de produtividade e diâmetro de frutos nos anos de 2007 a 2009, foi verificada uma alta variação na quadra estudada (Figura 8). Na área foi observada, para produtividade, uma alta variabilidade. A produtividade apresentou uma variabilidade de 11,25 kg a 80,8 kg/planta no ano de 2007. Isto é, na mesma área encontramos plantas com uma produtividade muito baixa de 11,25 kg e outras apresentando uma alta produtividade de 80,8 kg, sendo que a média de produtividade foi de 42,9 Kg/planta (Figura 8). Da produtividade total, 50% é representado por plantas com mais de 42,9 kg.

No ano de 2008 a amostragem realizada para estimar o potencial de produtividade e diâmetro de frutos, novamente foi verificada grande variação na quadra estudada e um aumento da produtividade quando comparada com o ano de 2007 (Figura 9). A produtividade apresentou uma variabilidade de 32 kg a 176 kg/planta no ano de 2008, significando um aumento de 284% e 217% respectivamente em relação as plantas com menor e maior produtividade de 2007. Isto é, na mesma área encontrou-se plantas com uma produtividade muito baixa de 32 kg e outras apresentando uma alta produtividade de 176 kg, sendo que a média de produtividade foi de 70 Kg/planta (Figura 8). Da produtividade total, 55% é representada por plantas com mais de 70 kg. Isto pode ser atribuído ao fato que no ano de 2007 quando foi realizado o primeiro levantamento da produção os índices pluviométricos da região da fazenda Citropar foram menores que a do ano de 2008, como mostra a Tabela 2. E isto pode ser explicado pelo fato que a cultura da laranja

responder bem as condições de maiores precipitações como mostrou Fidalski et al. (2007), estudando a adubação nitrogenada e precipitação sobre a nutrição e produção de laranja 'Valência' no município de Paranaíba, identificou que as produções máximas de frutos da laranja 'Valência' foram obtidas no período de maior precipitação.

No ano de 2009 a amostragem realizada para estimar o potencial de produtividade e diâmetro de frutos, foi verificada heterogeneidade na quadra estudada e uma diminuição da produtividade quando comparada com o ano de 2008 (Figura 8). Na área foi observada, para produtividade, uma alta variabilidade. A produtividade apresentou uma variabilidade de 20 kg a 100 kg/planta no ano de 2009, significando um decréscimo da produtividade de 38% e 43%, respectivamente, em relação as plantas com menor e maior produtividade. Isto é, na mesma área encontrou-se plantas com uma produtividade muito baixa de 20 kg e outras apresentando uma alta produtividade de 100 kg, sendo que a média de produtividade foi de 44 Kg/planta (Figura 8). Da produtividade total, 55% é representada por plantas com mais de 44 kg. Isto pode ser atribuído ao fato que no ano de 2009 houve uma redução na precipitação pluviométrica na região nos meses de outubro a dezembro 2009 (Tabela 2) e corroborada com o Balanço Hídrico da área de estudo (Tabela 3), afetando dessa forma a produção.

Com relação ao diâmetro dos frutos no ano de 2007 foi observado uma alta variabilidade, com valores variando de 40 a 68,6 mm, apresentando uma média de 54,8 mm, sendo que 60% dos frutos apresentam diâmetro acima da média (Figura 7). A informação da variabilidade do tamanho do fruto na área é muito importante, devido a produtividade da CITROPAR ser direcionada para o mercado *in natura*, frutos de diâmetro maior apresentam maiores cotações. Observou-se que a quadra DQ12 tem um potencial para produzir frutos com diâmetro de até 68,6 mm. Portanto, as informações de áreas que estão produzindo frutos acima da média é de suma importância para determinar o tipo de manejo que devem ser usados para aumentar a produção e o tamanho dos frutos.

Figura 7 - Distribuição do diâmetro de frutos da quadra DQ12 em 2007 a 2009, Capitão Poço-PA.

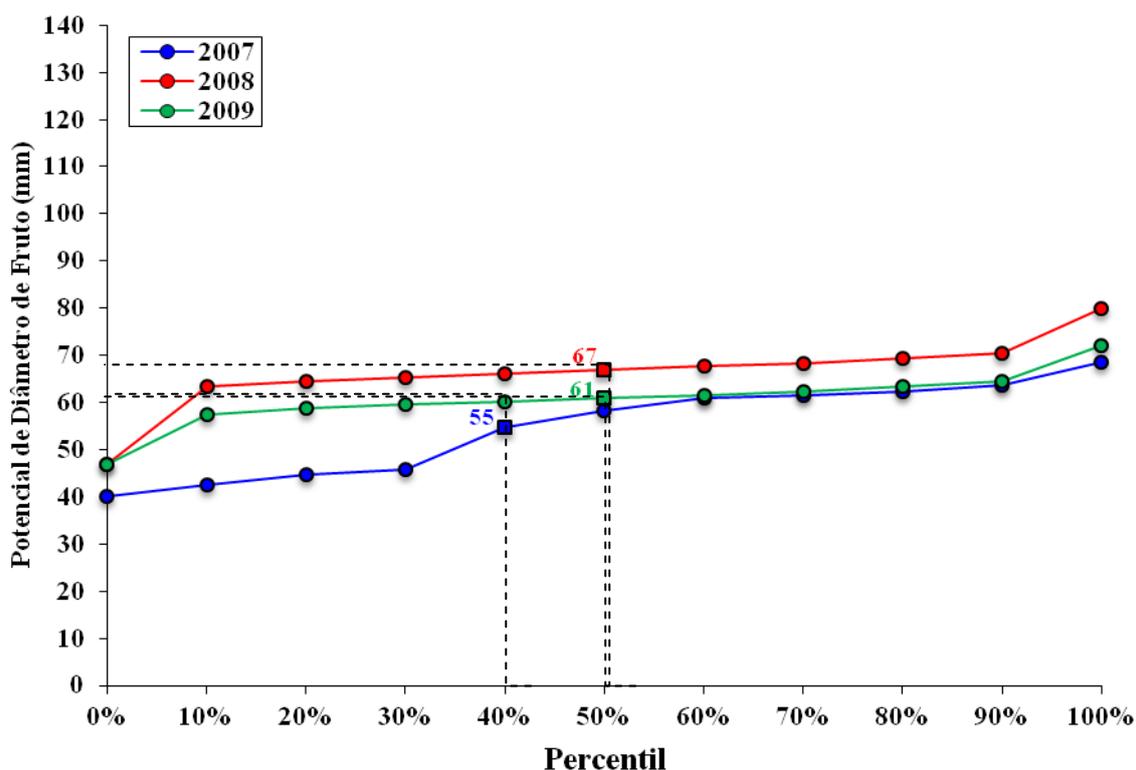
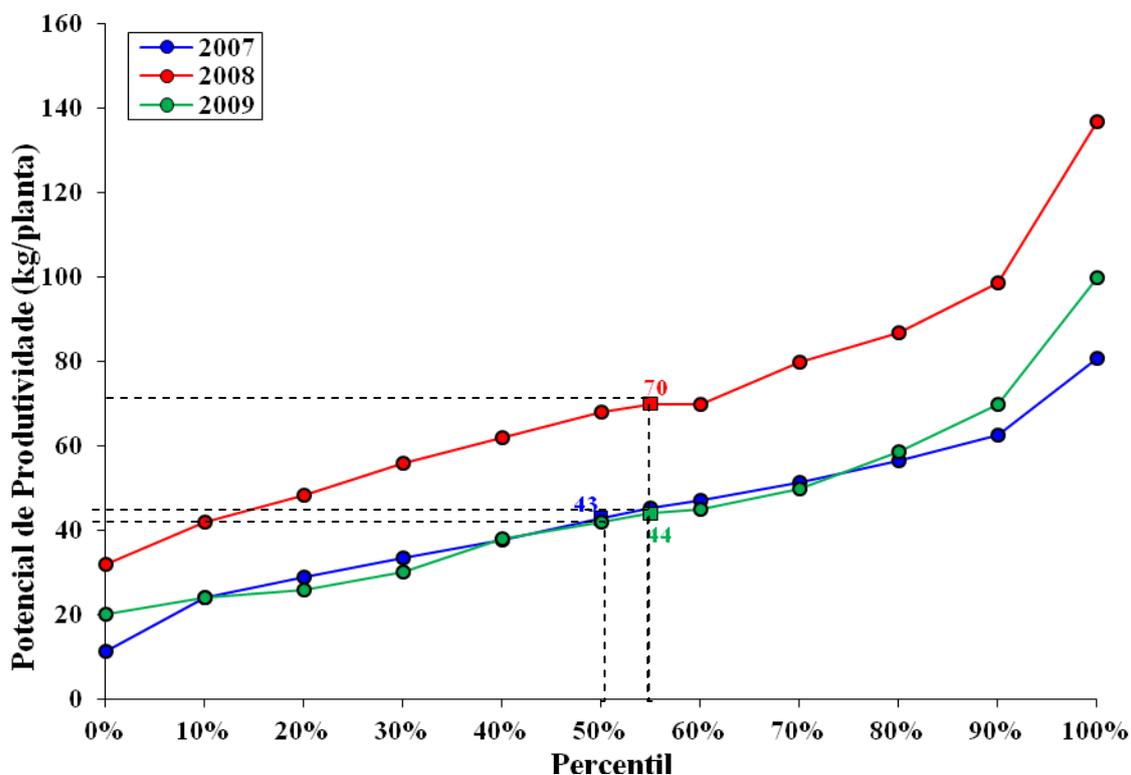


Tabela 2 – Dados Pluviométricos da fazenda Citropar

Índice Pluviométrico (mm)													
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
2007	92.0	311.0	310.0	349.0	301.0	174.0	119.0	37.0	24.0	21.0	50.0	152.5	1940.5
2008	311.0	362.0	473.0	355.0	278.0	211.0	65.0	97.0	26.0	51.0	28.0	68.0	2325.0
2009	228.0	348.0	480.0	281.0	322.0	40.0	89.0	45.0	37.0	39.0	17.0	18.0	1944.0

Com relação ao diâmetro dos frutos no ano de 2008, foi observado uma alta variabilidade, com valores variando de 47 a 80 mm, apresentando uma média de 67 mm, sendo que 50% dos frutos apresentam diâmetro igual a da média (Figura 7). O diâmetro do fruto apresentou uma variabilidade de 47 a 80 mm no ano de 2008, significando um aumento de 16% em relação ao diâmetro do fruto do ano de 2007 quando comparado com os frutos com maiores diâmetros.

Figura 8 – Distribuição do Potencial de Produtividade da quadra DQ12 em 2007 a 2009, Capitão Poço-PA.



Com relação ao diâmetro dos frutos no ano de 2009, foi observado uma grande variabilidade, com valores variando de 49 a 72 mm, apresentando uma média de 61 mm, sendo que 50% dos frutos apresentam diâmetro igual a da média (Figura 7). Em relação aos tamanhos de frutos do ano de 2008 houve uma redução de 47% nas plantas com maiores diâmetro de frutos.

Os dados do Balanço Hídrico (Tabela 3) mostram que a deficiência de água no solo é igual a 370 mm e ocorre nos meses de julho a dezembro, sendo que a reposição de água no solo ocorre no mês de janeiro. O excedente de água no solo é igual a 788 mm e ocorre entre os meses de fevereiro a junho.

De acordo com Tubelis et al. (1998) estudando as relações entre a produção de laranja 'westin' e as precipitações em Botucatu, verificaram que as precipitações que ocorreram nos meses de abril, maio, junho, setembro e dezembro, do ano anterior à colheita, e abril, do ano da colheita, foram as que mais influenciaram na produção do pomar.

Segundo Martins e et al. (2006) analisando a estimativa de produção de laranja Valência pela adaptação de um modelo Agrometeorológico em São Paulo na produção final dos citros, variedade Valência, as menores produções relativas observadas coincidem com as safras em que

o déficit hídrico foi mais acentuado neste período (safras de 1985/86, 1987/88, 1990/91 e 1996/97).

TABELA 3. Balanço hídrico da fazenda Citropar, Capitão Poço Pará (2000 a 2009)

MESES	T(C°)	PRP(mm)	ETP(mm)	ETR(mm)	DEF(mm)	EXC(mm)
JAN	27,8	268	154	154	0	0
FEV	26,7	317	130	130	0	176
MAR	26,8	398	144	144	0	254
ABR	26,6	358	136	136	0	222
MAI	26,5	267	139	139	0	128
JUN	26,5	143	135	135	0	8
JUL	26,4	105	140	136	4	0
AGO	26,8	87	144	122	22	0
SET	28,0	52	149	84	65	0
OUT	28,1	39	153	55	98	0
NOV	28,4	36	156	47	109	0
DEZ	27,8	82	154	82	72	0
MÉDIA	27,2	-	-	-	-	-
TOTAL	-	2152	1734	1364	370	788

T- temperatura, PRP- precipitação, ETP- evapotranspiração potencial, ETR- evapotranspiração real, DEF- deficiência hídrica, EXC- excedente hídrico.

A partir do potencial de produtividade dos anos de 2007 a 2009, pode-se observar a sensível variabilidade espacial da produção de laranja na área, identificando regiões de alta e baixa produtividade. Devendo as causas serem investigadas para possíveis intervenções localizadas. A determinação de regiões diferenciadas dentro da área, obtidas a partir dos mapas de produtividade, é a forma de identificar e posteriormente investigar as causas dessas variabilidades. Esse comportamento na produtividade de lavouras de citros também foi observado por Whitney et al. (1998); Schueller et al. (1999); Farias et al. (2003), Molin et al.(2007) e Oliveira et al. (2009) .

Pelos resultados obtidos e discutidos para o potencial de produtividade e tamanho de frutos indicando alta variabilidade na área, nos anos de 2007 a 2009, mostra que é preciso estimar essa variabilidade a partir de modelos e mapas para determinar a dependência espacial das variáveis por meio da geoestatística.

Os resultados observados neste trabalho estão de acordo com os encontrados por Farias et al. (2003) e Oliveira e et al. (2009), os quais trabalharam com o mapeamento da produtividade em pomares de cítricos no Estado de São Paulo e no Pará, respectivamente, e concluíram que a produtividade e o tamanho de frutos apresentaram alta variabilidade espacial. E Trevisan (2008)

estudando variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de laranja valência identificou a heterogeneidade na produtividade.

A variabilidade dentro de um pomar de citros também foi observada no trabalho de Lopes (2010) que verificou a desigualdade de produção, as aplicações diferenciadas de adubos proporcionaram economia de fertilizantes e seus impactos na produção foram mínimos no período estudado, mesmo utilizando uma quantidade de adubo menor, a produtividade não diferiram entre os tratamentos.

Para verificar se o tamanho dos frutos influenciou na produção, foi realizada correlação entre produtividade e tamanho dos frutos para a área do experimento nos anos de 2007 a 2009 (Figura 9). Pelo resultado obtido observou-se que não houve correlação significativa ($r = -0,056$), ($r = 0,126$) e ($r = 0,165$) respectivamente. Portanto, a produtividade não foi influenciada pelo tamanho dos frutos e sim pelo número de frutos por planta, fato que já havia sido observado por Farias et al. (2003) e Oliveira e et al. (2007). Isso pode ser explicado devido nos meses de colheita na região coincide com o período de maior estiagem (Tabela 3). E segundo Paulino e Volpe (2001), estudando métodos estatísticos de regressão para relacionar a produção de laranja "Pêra" com algumas variáveis meteorológicas (temperatura mínima, média e máxima do ar, precipitação pluvial, déficit e excedente hídrico). Concluíram que o clima pode explicar cerca de 92% da variação anual da produção, em número de frutos por árvore, no caso da laranja "Pêra", na região de Limeira, São Paulo.

Os resultados obtidos foram submetidos à análise exploratória dos dados, por meio da estatística descritiva, observadas as seguintes medidas: média (\hat{m}), variância (s^2), erro padrão da média (EPM), coeficiente de variação (CV%), assimetria (μ_3) e curtose (μ_4). Informações adicionais tais como, tamanho da amostra (N) e valores máximo (Máx) e mínimo (Min). O objetivo primordial desta análise é caracterizar individualmente as variáveis quanto aos seus valores de tendência central e dispersão, a partir do estudo das suas distribuições de frequência. Para se atingir esse objetivo, os valores das diversas variáveis estudadas foram ordenadas e a seguir analisados de acordo com o Tabela 4.

Na Tabela 4 estão contidas as estatísticas descritivas das variáveis analisadas. Observa-se que os valores das médias são, quase sempre, superiores às variâncias, o que indica uma distribuição que tende para uma dependência espacial. As exceções ocorreram para o P (40.33 e 50.28), nos anos de 2007 e 2009, respectivamente, e Ca (5.02) no ano de 2009. Variância maior que a média é comum em estudos de variabilidade espacial e indicam uma distribuição agregada (FERRIS & WILSON, 1987; ANSCOMBE, 1950). Apesar da ocorrência de algumas distribuições assimétricas, os valores da média e mediana de todos os atributos químicos

estudados são próximos, mostrando que os dados não apresentam assimetria forte; conforme Little & Hills (1978), quando os valores da média, mediana e moda são semelhantes, os dados apresentam ou se aproximam da distribuição normal. Isso pode ser um indicativo de que as medidas de tendência central não são dominadas por valores atípicos na distribuição (CAMBARDELLA et al., 1994), demonstrando que todos os atributos envolvidos no estudo estão se aproximando de uma distribuição normal, sinal de que os dados estão adequados para uso da geoestatística. A normalidade foi testada por meio do teste Shapiro-Wilk.

Tabela 4 - Estatísticas descritivas das análises químicas do solo

<i>ANO</i>	<i>Variáveis</i>	<i>N</i>	\hat{m}	$s(\hat{m})$	<i>Mo</i>	<i>Md</i>	s^2	<i>CV%</i>	μ_3	μ_4	<i>Máx</i>	<i>Min</i>
2007	pH	120	4.95	0.26	-	4.94	0.07	5.25	0.21	0.34	5.76	4.20
	M.O. (g.kg ⁻¹)	120	15.03	1.62	15.60	14.89	2.62	10.78	0.39	0.13	19.46	11.30
	P (mg.dm ³)	120	25.27	6.35	31.20	25.30	40.33	25.13	0.44	0.13	47.00	12.40
	K (cmolc.dm ³)	120	0.18	0.07	0.19	0.17	0.01	38.89	5.86	50.49	0.80	0.10
	Ca (cmolc.dm ³)	120	1.25	0.34	-	1.25	0.12	27.20	0.49	1.27	2.41	0.45
	Mg (cmolc.dm ³)	120	0.43	0.12	0.51	0.43	0.14	27.91	0.61	0.54	0.67	0.08
2009	pH	100	4.67	0.03	4.70	4.70	0.07	5.80	0.05	0.56	5.50	4.40
	M.O. (g.kg ⁻¹)	100	20.34	0.23	20.00	20.00	5.22	11.22	0.53	0.13	27.00	16.00
	P (mg.dm ³)	100	12.66	0.71	6.00	11.00	50.28	55.29	1.34	1.66	36.00	4.00
	K (cmolc.dm ³)	100	0.07	0.01	0.06	0.06	0.06	30.45	1.73	6.37	0.17	0.03
	Ca (cmolc.dm ³)	100	1.97	0.07	1.50	1.90	5.02	35.97	0.15	0.55	5.50	0.70
	Mg (cmolc.dm ³)	100	0.63	0.02	0.60	0.60	0.59	38.86	0.59	4.34	2.60	0.30

N – Número de amostras; \hat{m} – Média; $S(\hat{m})$ – Erro padrão da Média; **Mo** - Moda; **Md** - Mediana; s^2 - Variância; **CV%** – Coeficiente de Variação; μ_3 - Assimetria; μ_4 - Curtose; **Máx** – Valor Máximo e **Min** – Valor Mínimo.

De acordo com a classificação de Warrick e Nielsen (1980) os valores de CV foram: no ano de 2007 e 2009 o pH apresentou baixo CV (< 12 %) (Tabela 4). O fósforo, cálcio, potássio e magnésio apresentaram CV alto (> 24 %), nos dois anos de análise.

Segundo Vanni (1998), coeficiente de variação maior que 35 % revela que a série é heterogênea e a média tem pouco significado. Se for maior que 65 %, a série é muito heterogênea e a média não tem significado algum. Contudo, se for menor que 35 %, a série é

homogênea e a média tem significado, podendo ser utilizada como representativa da série de onde foi obtida. Dessa forma, pode-se dizer que o K, no ano de 2007 e P, Ca e Mg no de 2009, apresentaram série de dados heterogêneos e média com pouco significado. Pelos valores máximos e mínimos nota-se que quase todos os atributos no solo apresentam uma grande variabilidade o que justifica os coeficientes de variações altos.

É importante salientar que o objetivo desse estudo é a aplicação de técnicas geoestatísticas para medir a variabilidade das variáveis na área. Mesmo assim, é razoável considerar que os recursos estatísticos são sempre ferramentas complementares às observações de campo.

Os atributos do solo nos anos de 2007 e 2009 analisados estão de acordo com os critérios de interpretação sugeridos por Souza & Lobato (2004); Grupo Paulista de Adubação e Calagem para Citros (1994); Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais - CFSEMG (1999), com exceção do pH, K em 2009, Ca em 2007 e Mg.

Ao realizar-se as correlações entre o pH e a produtividade, pH e o tamanho dos frutos, nos anos de 2007 e 2009 verificou-se uma pequena tendência com relação a produtividade (Tabela 5), no entanto sem significância, já em relação ao diâmetro dos frutos (Tabela 5) não observou-se correlação.

Ao observar as correlações entre a M.O. e produtividade (Tabela 5) e M.O. e o tamanho dos frutos nos anos de 2007 e 2009 (Tabela 5), verificou-se uma pequena tendência com relação a produtividade no entanto sem significância, já em relação ao diâmetro dos frutos não observou-se correlação.

Tabela 5 - Correlação dos atributos do solo com a produtividade e o diâmetro dos frutos nos anos de 2007 a 2009.

Ano	Produção	Produtividade	pH	Atributos do solo				
				M.O. (g.kg ⁻¹)	P (mg.dm ³)	K cmolc.dm ³)	Ca (cmolc.dm ³)	Mg (cmolc.dm ³)
2007	Diâmetro do fruto	- 0.056	-0.007 ^{ns}	-0.031 ^{ns}	0.212 [*]	0.131 [*]	-0.006 ^{ns}	0.449 [*]
	Peso do fruto	-	-0.107 ^{ns}	0.165 ^{ns}	0.192 ^{ns}	0.145 ^{ns}	-0.202 [*]	0.004 ^{ns}
2009	Diâmetro do fruto	0.127	-0.022 ^{ns}	0.001 ^{ns}	-0.184 ^{ns}	0.012 ^{ns}	-0.043 ^{ns}	-0.010 ^{ns}
	Peso do fruto	-	-0.045 ^{ns}	0.090 ^{ns}	-0.033 ^{ns}	0.213 [*]	-0.136 ^{ns}	-0.072 ^{ns}

* Efeito significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns Efeito não significativo ao nível de 5% de probabilidade

Ao analisar a concentração de fósforo no solo influenciou na produtividade, foram realizadas correlações entre o P e a produtividade obtendo-se como resultado, P ($r = 0,19$ e $-0,03$) para as análises químicas do solo nos anos de 2007 e 2009 (Tabela 5). Pelos resultados obtidos verificou-se que ocorreu uma ligeira correlação, no entanto sem significância (Tabela 5). Portanto a produtividade não foi afetada pela concentração do nutriente no solo, fato já observado por RAIJ (1991), que, no entanto se contrapõe aos estudos realizados por Veloso et al. (2003) avaliando a resposta da Laranjeira-Pêra aos Nutrientes N, P, K em Latossolo Amarelo do Nordeste Paraense mostraram que os resultados acumulados de três anos indicaram, pela análise da variância, efeito significativo do fósforo para a produção de frutos/planta. Já com relação ao tamanho de fruto e a concentração de fósforo no solo, foi realizada correlações entre o P e o tamanho de fruto obtendo-se como resultado, P ($r = 0,21$ e $-0,18$) para as análises químicas do solo nos anos de 2007 e 2009 (Tabela 5). Pelos resultados obtidos verificou-se uma leve tendência, no entanto sem correlação significativa. Portanto o tamanho do fruto não foi afetado pela concentração do nutriente no solo.

Foram realizadas correlações entre o potássio e a produtividade para os anos de 2007 e 2009, obtendo-se como resultado K ($r = -0,14$ e $-0,21$) para as análises químicas do solo nos anos de 2007 a 2009 (Tabela 5). Pelos resultados obtidos verificou-se que não houve correlação significativa, logo a produtividade não foi afetada pela concentração do nutriente no solo, o que confirma estudos realizados por Sobral et al.,(2000). De acordo com Almeida et al.(2002) estudando os efeitos da adubação nitrogenada e potássica na produção e na qualidade de frutos de laranjeira-‘valência’ mostrou que não houve efeitos significativos das doses combinadas de nitrogênio e potássio na produção da laranjeira-Valência durante três safras consecutivas. E Veloso (2003) avaliando a resposta da Laranjeira-Pêra aos Nutrientes N, P, K em Latossolo Amarelo do Nordeste Paraense mostraram que os resultados acumulados de três anos indicaram, pela análise da variância, ausência de resposta do potássio, para a produção de frutos/planta.

Tabela 6 - Parâmetros dos semivariogramas das variáveis estudadas ajustados aos modelos.

	Variáveis	Parâmetros			Modelo	$E = \frac{C_0}{C_1}$	$k = \frac{C_0}{C_0 + C_1}$
		C_0	C_1	a (m)			
Produção 2007	Diâmetro do Fruto	0	63,0	45,0	Gaussiano	0,0	0,0
	Produtividade	100,0	135,0	60,0	Esférico	0,74	0,43
Produção 2008	Diâmetro do Fruto	225	72	21	Esférico	3,12	0,76
	Produtividade	370	176	50	Esférico	2,10	0,68
Produção 2009	Diâmetro do Fruto	5	3.3	30	Esférico	1,51	0,6
	Produtividade	250	138	80	Exponencial	1,81	0,65
Solo 2007	pH	0,002	0,041	48,0	Esférico	0,05	0,05
	M.O. (g.kg⁻¹)	0,2	2,2	90,0	Esférico	0,09	0,08
	P (mg.dm³)	7,0	29,0	30,0	Exponencial	0,24	0,19
	K (cmolc.dm³)	0,0	0,002	95	Esférico	0,0	0,0
	Ca (cmolc.dm³)	0,005	0,105	117,0	Esférico	0,05	0,50
	Mg (cmolc.dm³)	0,002	0,008	77,0	Esférico	0,25	0,2
Solo 2009	pH	0,048	0	0	Aleatório	0	0
	M.O. (g.kg⁻¹)	0	1.03	30	Gaussiano	0	0,0
	P (mg.dm³)	28	43.5	53	Esférico	0,64	0,39
	K (cmolc.dm³)	0.005	0.003	67	Esférico	1,78	0,64
	Ca (cmolc.dm³)	5	41	63	Esférico	0,12	0,1
	Mg (cmolc.dm³)	0	0.5	30	Gaussiano	0	0,0

A obtenção do semivariograma é descrita como o primeiro passo no procedimento de uma análise Geoestatística. Na verdade, ele é o passo mais importante porque o modelo escolhido será utilizado no processo da krigagem (Mapas de Contornos) e influenciará todos os resultados interpolados e as conclusões. Neste estágio o avaliador deverá decidir se usa ou não a Geoestatística para a avaliação.

A partir do conhecimento preliminar dos dados estatísticos das variáveis da área em estudo, passou-se à análise variográfica, procurando-se conhecer com a máxima precisão possível o grau de continuidade dessas variáveis e as características qualitativas da regionalização. A ferramenta fundamental para essa análise em Geoestatística é o semivariograma.

As análises variográficas foram elaboradas para uma direção global isotrópica destas variáveis no espaço, permitindo o ajuste de modelos matemáticos a esses semivariogramas. Para

tal foram estudados os principais modelos variográficos teóricos com patamar, conforme mostrado na Figura 9.

Considerando-se que a malha de amostragem da Quadra DQ12 apresenta uma distribuição regular, a pesquisa de pares de pontos no espaço foi feita para a direção global, ou seja, adotando-se um ângulo de tolerância de 90°. Isto quer dizer que os pares (dependência espacial) foram procurados nas principais direções do espaço.

Buscando uma melhor definição dos parâmetros variográficos, foram feitas várias tentativas com ajuste aos modelos esférico, exponencial e gaussiano, com diferentes distâncias entre pares. Em todos os ajustes de pares para estimar a dependência espacial das variáveis o número de pares foi sempre maior que 30 pares. O número de pares e as distâncias estão de acordo com Guerra (1988) que cita que o número de pares com que foi calculado o semivariograma experimental desempenha um papel importante, sendo necessário pelos menos 30 pares. Quanto a distância máxima, o mesmo autor cita que na prática a área de estudo variográfico, raramente ultrapassa a metade do campo total amostrado.

Na Tabela 6 são apresentados os parâmetros dos modelos variográficos ajustados para as diferentes variáveis estudadas e a razão (K).

Os semivariogramas e os parâmetros ajustados aos dados de diâmetro dos frutos nos de 2007 a 2009 estão representados pela Figura 9 e Tabela 6, respectivamente. Observa-se que o modelo Gaussiano se ajustou aos dados de diâmetro de fruto no ano de 2007 (Figura 9), com um alcance espacial de 45 m, apresentando um valor de $k = 0$, portanto, sem aleatoriedade nos dados (Tabela 6). Isso se deve ao fato de que foi retirada a média de 10 frutos em cada amostra o que diminuiu o erro nas amostragens. No ano de 2008 (Figura 9), o modelo Esférico ajustou-se aos dados de diâmetro de fruto, com um alcance espacial de 21 m e a razão k de 0.76 (Tabela 6), indicando que há cerca de 76% aleatoriedade nos dados amostrados. Já no ano de 2009 (Figura 9), o modelo ajustado para o diâmetro de fruto foi o Esférico com um alcance de 30 m e $k = 0.60$ (Tabela 6). Apresentando uma aleatoriedade de 60% nos dados amostrados.

De acordo com Journel e Huijbregts (1978), os valores de k quando forem maiores que 0,8, a Estatística e a Geoestatística não possuem diferença. Desta maneira, pode-se analisar quanto da variância total é causada por variações aleatórias.

Já para os semivariogramas e os parâmetros ajustados aos dados de produção dos frutos nos de 2007 a 2009 estão representados pela Figura 9 e Tabela 6 respectivamente. Observa-se que o modelo Esférico se ajustou aos dados de produção de fruto no ano de 2007 (Figura 21), com um alcance espacial de 60 m, apresentando um valor de $k = 0.43$, portanto, apresentando aleatoriedade nos dados de 43% (Tabela 6). No ano de 2008 (Figura 9), o modelo Esférico ajustou-se aos dados de tamanho de fruto, com um alcance espacial de 50 m e a razão k de 0.68

(Tabela 6), indicando que há cerca de 68% de aleatoriedade nos dados amostrados. Já no ano de 2009 (Figura 9), o modelo ajustado para o diâmetro de fruto foi o Esférico com um alcance de 80 m e $k = 0.65$ (Tabela 6). Apresentando uma aleatoriedade de 60% nos dados amostrados.

Observou-se que nos três anos de análise da produção, o ano em que a dependência foi maior foi do de 2009, apresentando uma dependência de 80 m. Pois, o alcance da dependência espacial é um atributo importante no estudo dos semivariogramas, haja vista que representa a distância máxima em que os pontos amostrais estão correlacionados espacialmente entre si (CHAVES; FARIAS, 2009).

Figura 9 – Semivariogramas da produtividade (A), tamanho do fruto (B) no ano de 2007, da produtividade (C), tamanho do fruto (D) no ano de 2008, da produtividade (E), de tamanho do fruto (F) ano de 2009.

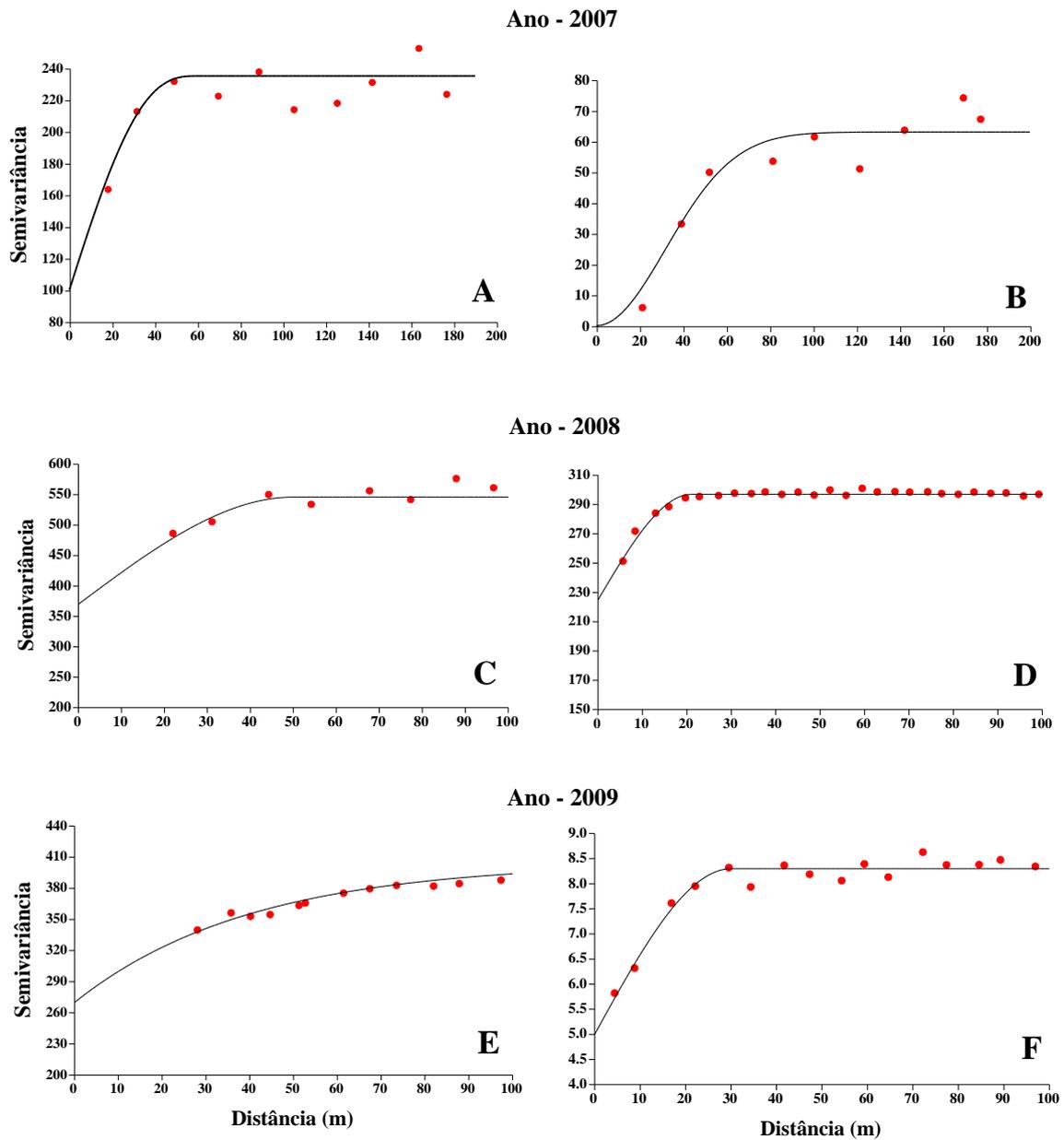


Figura 10 – Mapa do diâmetro do fruto (A) ano 2009, do diâmetro do fruto (B) ano 2008, do diâmetro do fruto (C) ano 2007 e da amostragem das plantas georreferenciadas da Quadra DQ12 (D).

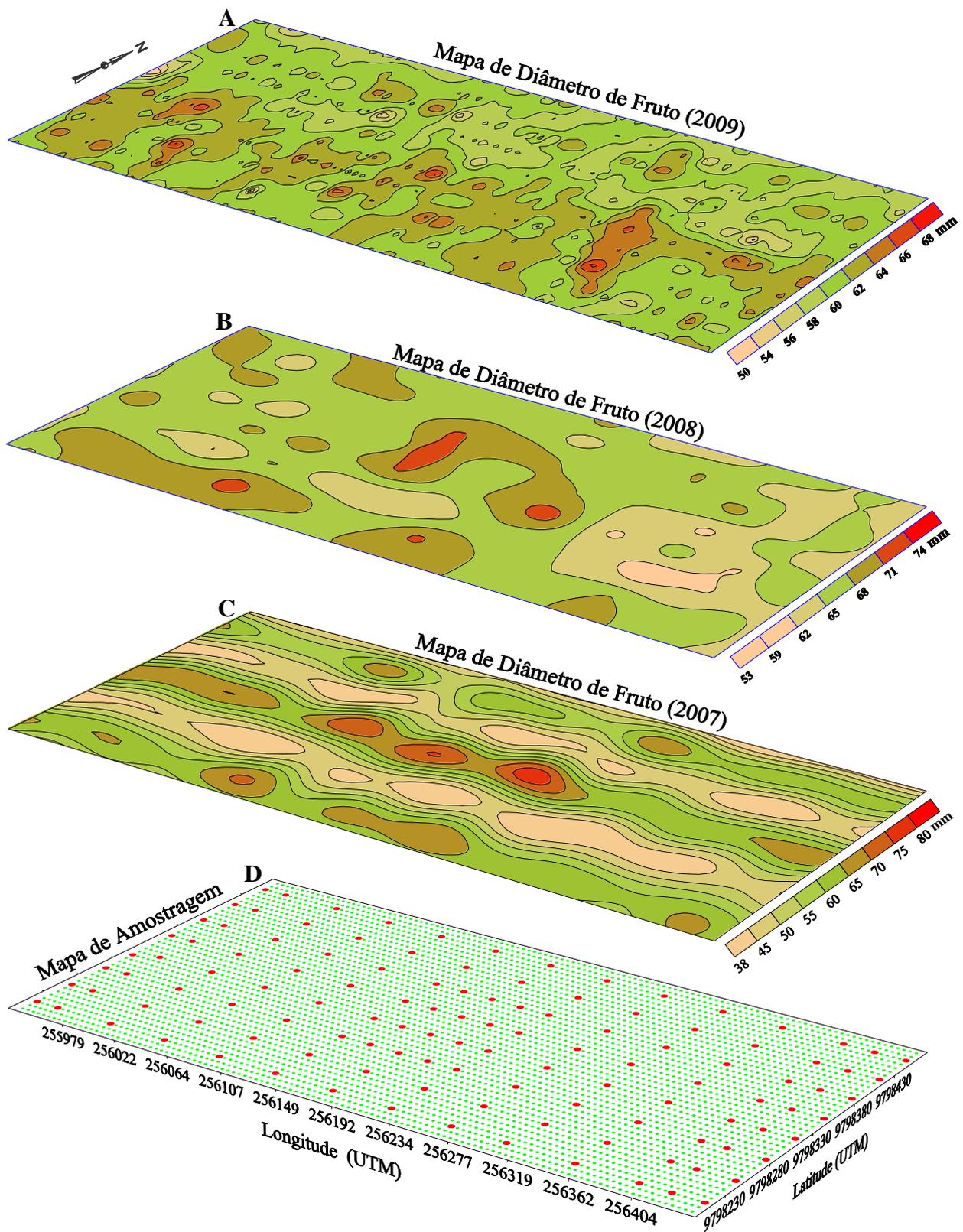
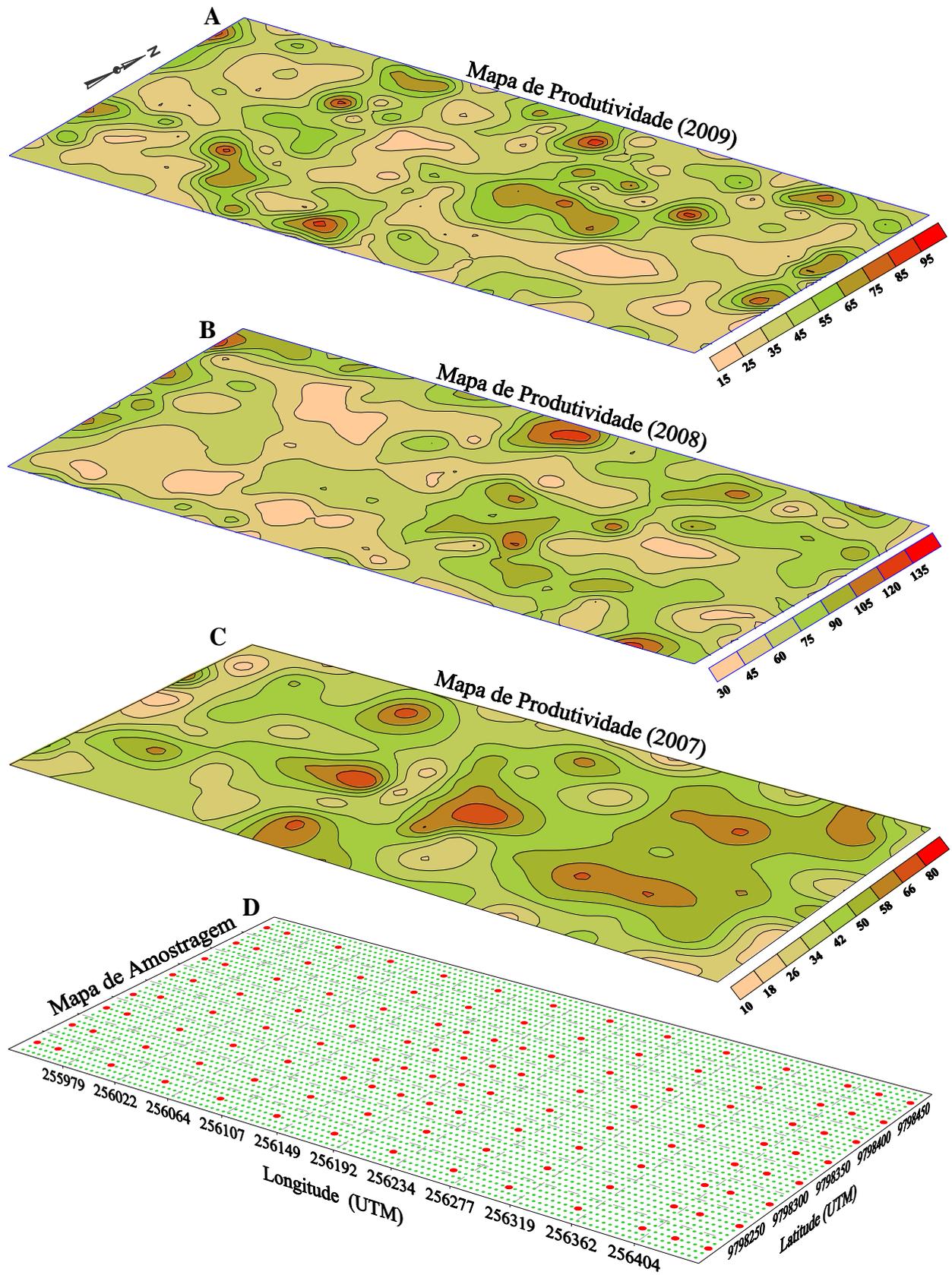


Figura 11 – Mapa de produtividade(A) ano de 2009, de produtividade(B) ano de 2008, de produtividade (C) ano de 2007 e da amostragem de plantas georreferenciadas da quadra DQ12 (D).



Por meio dos dados dos semivariogramas ajustados foi realizada a krigagem ordinária para estimar as interpolações necessárias para a construção do mapa da distribuição espacial do tamanho e produção de frutos da área nos anos de 2007 a 2009. Pelos mapas temáticos de tamanho de frutos (Figura 10), podem-se observar as variabilidades espaciais, caracterizando as áreas de risco existentes na Quadra DQ12.

Para o diâmetro dos frutos no ano de 2007 (Figura 10 C), o comportamento espacial mostrou uma tendência de variabilidade acompanhando as linhas de plantios. Isso deve-se ao fato de que, provavelmente, o manejo utilizado na Quadra influenciou no comportamento espacial do diâmetro de frutos. Na Quadra utiliza-se, para diminuir a incidência de pragas, o manejo de roçar uma fila sim outra não. Com o mato alto, a competição por nutrientes aumenta e, provavelmente, influencia diretamente no desenvolvimento dos frutos.

Para o diâmetro dos frutos no ano de 2008 (Figura 10 B), o comportamento espacial identificou uma distribuição diferente do ano de 2007, ou seja, a variabilidade não acompanhou as linhas de plantio. Pode-se ser explicar, devido ao fato de não ter ocorrido mais o manejo de roçar uma fila sim outra não.

E ao analisar o comportamento espacial do diâmetro do fruto no ano de 2009 (Figura 10 A), observou-se que o comportamento da variabilidade espacial acompanhou a tendência do ano de 2008. Mas, ressaltar-se que o comportamento da variabilidade espacial do tamanho do fruto nos anos de 2007 a 2009 convergiu para o local de maior declividade, ou seja, os frutos com maiores diâmetros estão localizados nas margens esquerda dos mapas (Figura 10). Isto pode ser explicado pelo fato da quadra DQ12 está próxima de um igarapé que corta a fazenda.

Os Mapas de produtividades dos anos de 2007 a 2009 (Figura 11) mostraram que há áreas com maior e menor produção dentro da Quadra. As cores mais intensas indicam áreas que apresentam um grande potencial de produtividade, produtividade bem acima da média. Identificar e estudar essas áreas é de suma importância para o aumento da produção de citros na região de Capitão Poço. Este resultado está de acordo com vários autores que estudaram a variabilidade de produção de diferentes culturas (FARIAS et al, 2003; JOHANN et al. 2004; OLIVEIRA et al. 2009; MOLIN et al. 2007; SANTOS et al. 2012 e FERRAZ et al. 2011).

Figura 12 – Semivariogramas mostrando os modelos ajustados para pH, matéria orgânica (M.O.), Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg) no solo no ano de 2007

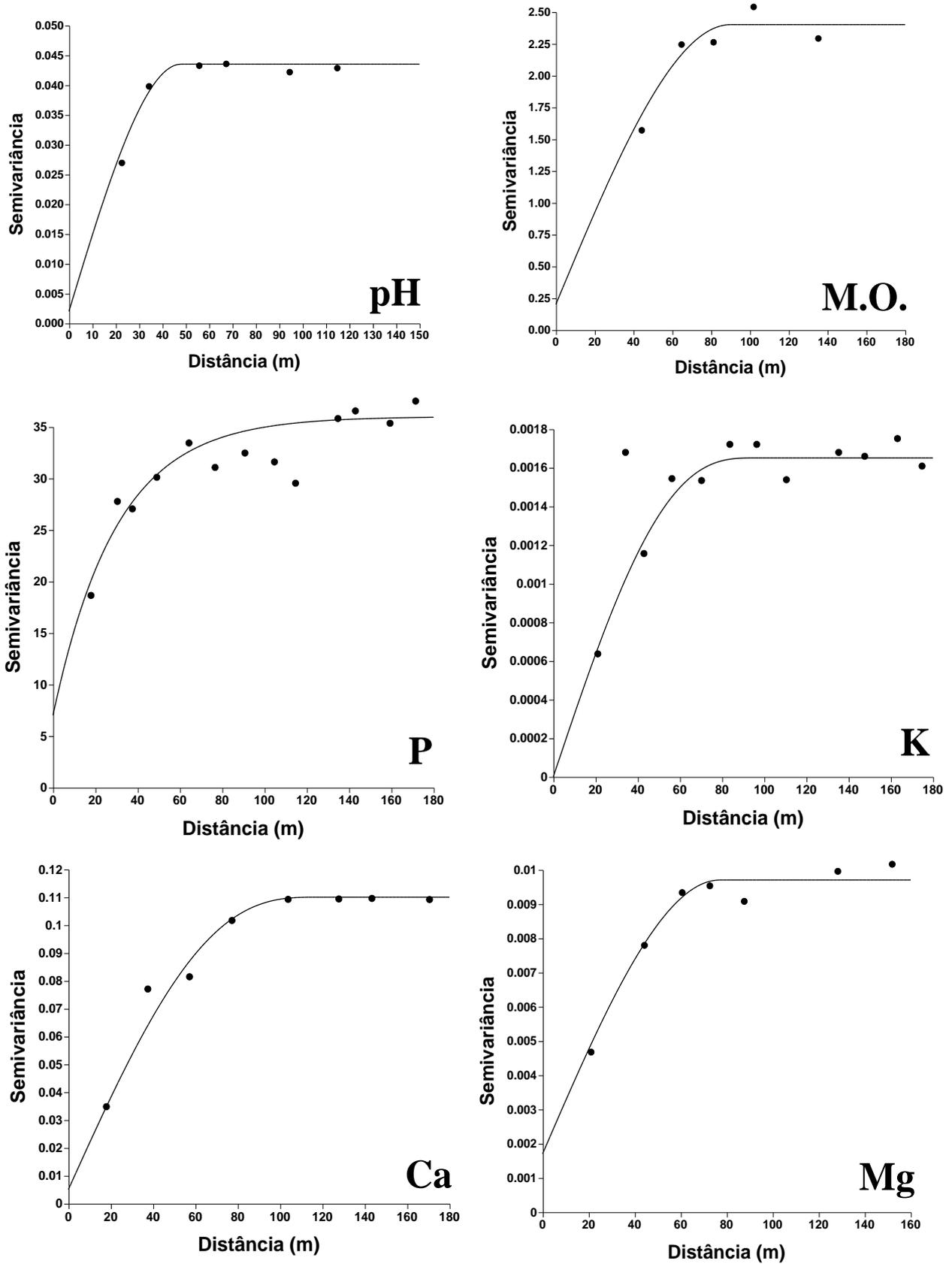
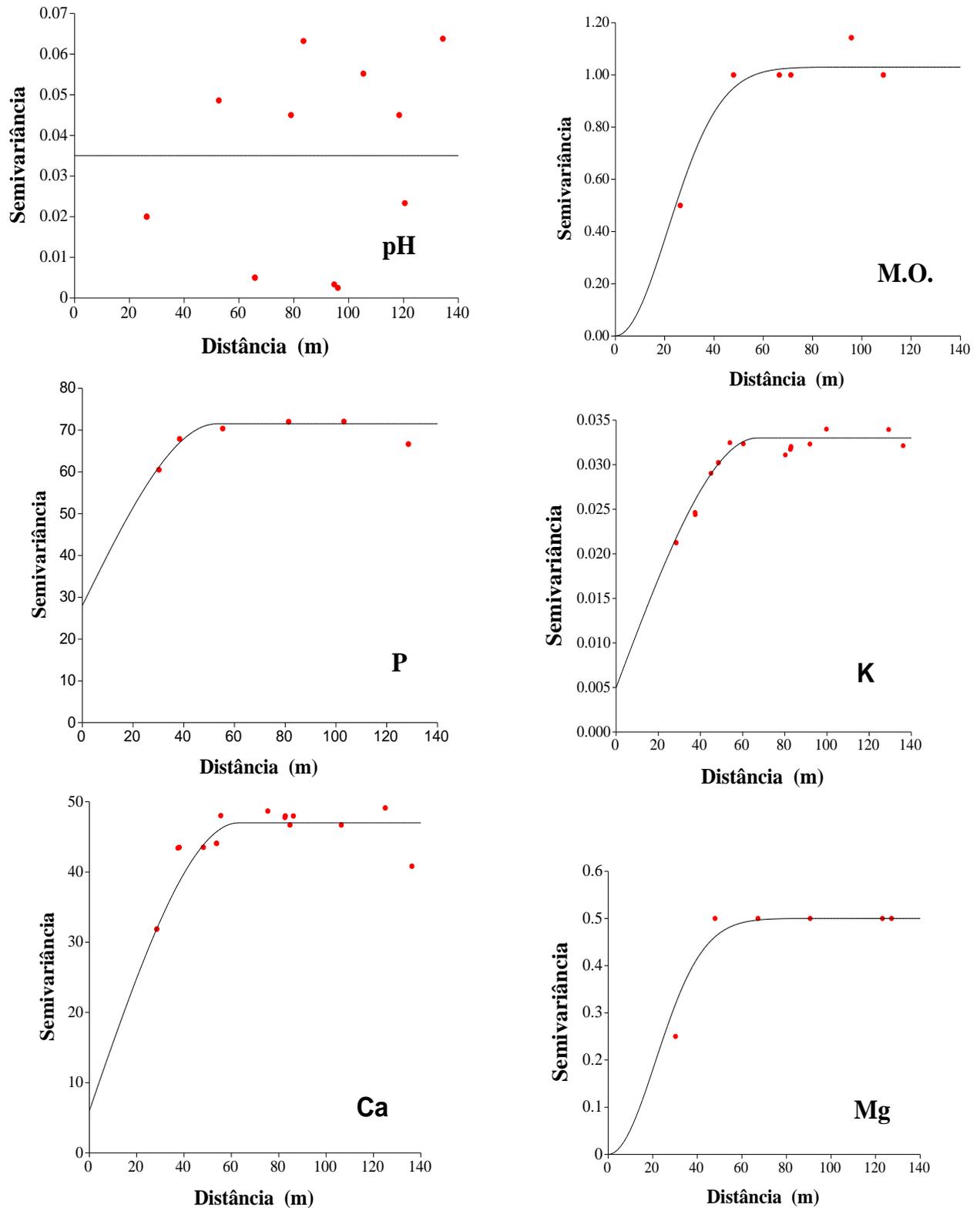


Figura 13 – Semivariogramas mostrando os modelos ajustados para pH, matéria orgânica (M.O.), Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg) no solo no ano de 2009.



Observar-se pela Figura 12 que os dados dos atributos do solo no ano de 2007, ajustaram-se ao modelo esférico, com exceção do Fósforo (P) que se ajustou ao modelo exponencial. A Tabela 2 mostra que os modelos foram muito bem ajustados, somente o Cálcio (Ca) no solo, apresentou um parâmetro k de 0,50, indicando que para este macronutriente cerca de 50% da variação das amostras é aleatória. Assim, por mais próximas que estejam às unidades amostrais, esta variabilidade estará presente.

O modelo que mais se adequou para explicar a estrutura da variabilidade espacial do pH nas amostra de solo foi o esférico (Figura 12), apresentando um raio de 48 m (alcance), que representa uma área de 7.238 m, abrangendo cerca de 207 laranjeiras (Tabela 6). Apresentou uma razão k de 5% de aleatoriedade nas amostra. Esse resultado é muito importante para a estimação dos dados no mapa temático. O modelo esférico, também, foi o que melhor representou o comportamento da matéria Orgânica na Quadra DQ12, apresentando uma razão k de 9% de aleatoriedade nos dados e um raio de 90 m (alcance) com cerca de 2,5 ha, cobrindo uma área de dependência espacial de aproximada de 727 plantas (Tabela 6).

Na Tabela 6 pode-se observar que os macronutrientes, de uma maneira geral, apresentaram dependência espacial nas amostra. O fósforo (P) se ajustou ao modelo exponencial (Figura 12) com um raio de dependência espacial de 30 m (alcance) e uma razão k de 19% de aleatoriedade nos dados. Para o potássio (K) o modelo que se mostrou mais adequado foi o esférico (Figura 12), muito bem ajustado, apresentando um efeito pepita (C_0) de sem aleatoriedade nos dados (0,0). O raio de dependência espacial foi de 95 m (Tabela 6).

Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg) (Figura 12) se ajustaram ao modelo esférico, apresentando alcances de 117 m e 77 m, respectivamente. A aleatoriedade nos dados de amostragem variou entre 20% a 50% (Tabela 6).

O modelo que melhor se ajustou para os dados dos atributos do solo no ano de 2009 foi o esférico. O modelo esférico se mostrou mais adequado para explicar a dependência espacial dos macronutrientes (P, K e Ca), como mostra a Figura 13. Apresentando um raio de dependência que variou de 53 a 67 m. Sendo que o k variou entre esses atributos de 0.19 a 0.5, mostrando que há aleatoriedade nessas amostras. Já para o Mg e M.O. o modelo que melhor se ajustou foi o Gaussiano, apresentando uma dependência espacial de 30 m para os dois atributos e a razão $k = 0$ para os dois atributos, portanto não havendo aleatoriedade das amostras para estes atributos.

A partir dos modelos ajustados aos semivariogramas foi possível realizar a estimação dos valores amostrados pelo método da krigagem para construção dos mapas da produtividade, tamanho do fruto (Figuras 11 e 10) e macronutrientes no solo (Figuras 14 e 15) pelos mapas temáticos de produtividade e de tamanho de fruto sobrepostos aos de macronutrientes no solo

nos anos de 2007 e 2009, pode-se observar as variabilidades espaciais, caracterizando as áreas de riscos existente na quadra.

A partir da Figura 14 observar-se que o pH, matéria orgânica (M.O.) e os macronutrientes (P, K, Ca e Mg) no solo estão apresentando uma tendência de distribuição espacial seguindo a linha de plantio da cultura, o que pode explicar o comportamento espacial do diâmetro dos frutos, que segue essa mesma tendência. Portanto, parece mesmo que o manejo roçagem alternada nas filas, adotado na Quadra DQ12 influenciou diretamente o desenvolvimento e a forte variabilidade no diâmetro dos frutos.

A Figura 15 mostra que a distribuição espacial dos macronutrientes (P, K, Ca e Mg) e matéria orgânica não seguiram mais a tendência de distribuição espacial do ano de 2007, mais parecido com a variabilidade espacial da produtividade na área. Isso deve-se, provavelmente, ao fato de que não existe mais o manejo de roçar alternadamente as filas de plantio usado na área.

Figura 14 – Mapa de variabilidade espacial de tamanho de fruto e Produtividade sobreposto aos de pH, matéria orgânica (M.O.), fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca) e magnésio (Mg) no solo no ano de 2007.

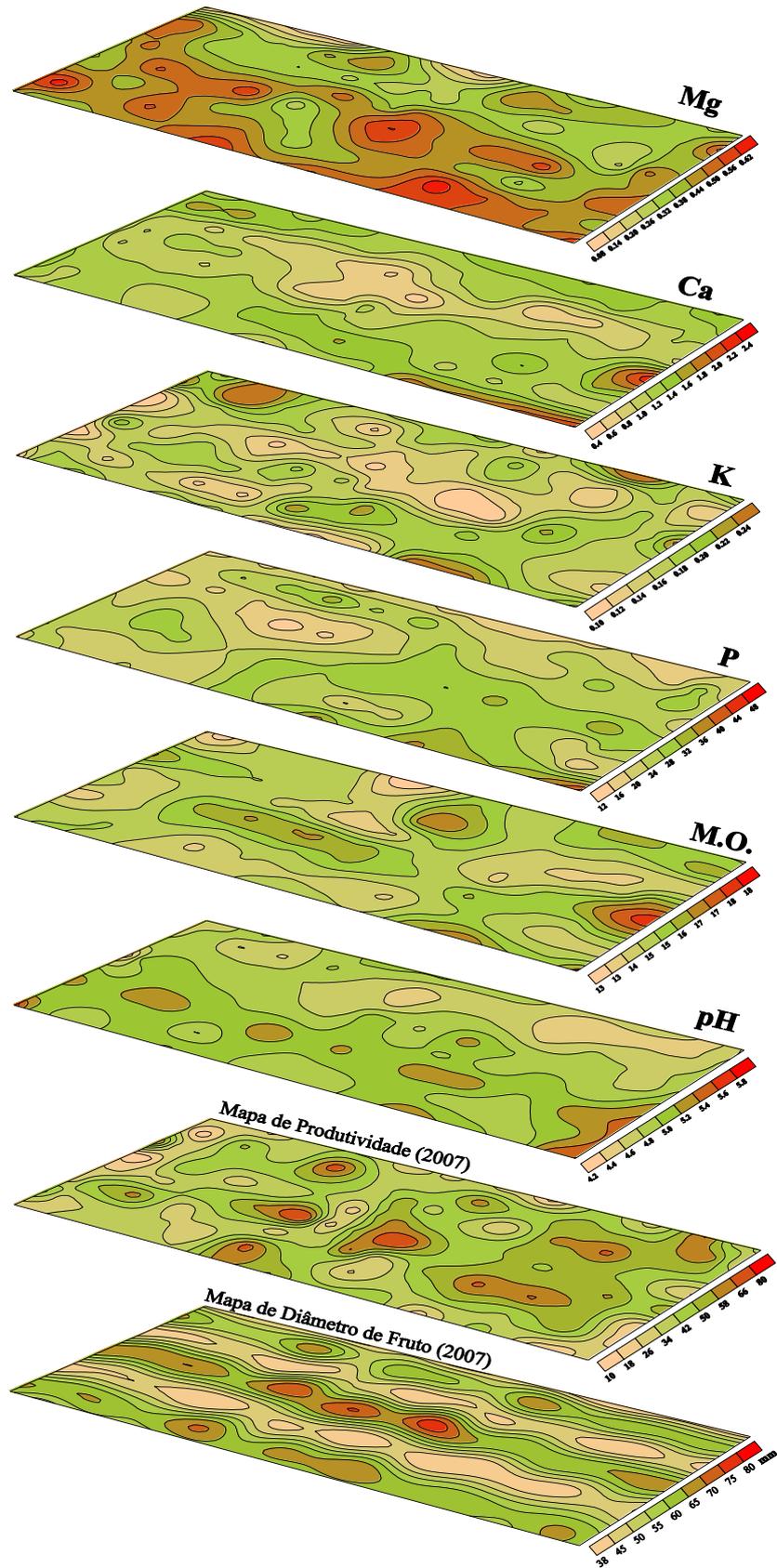
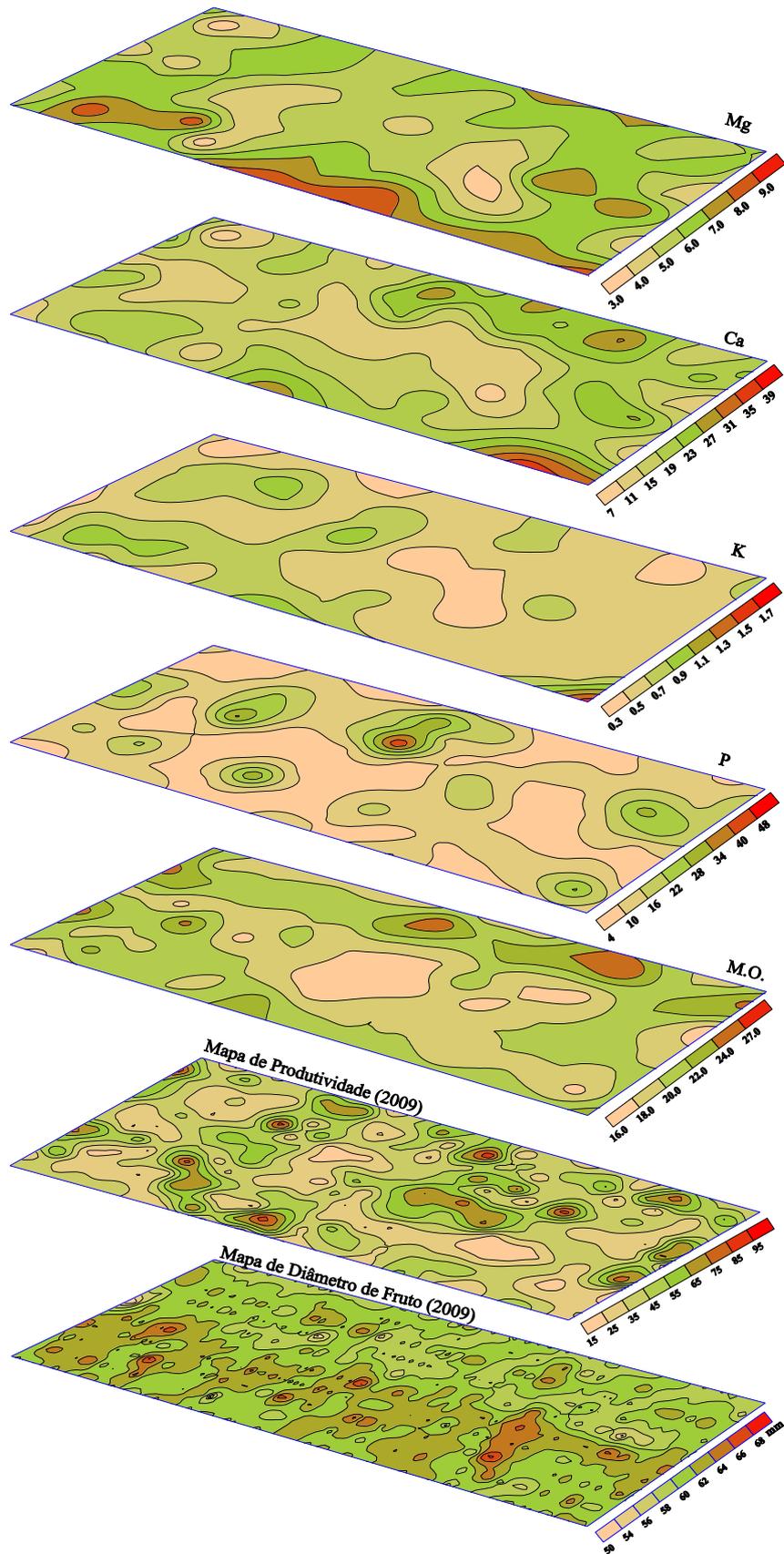


Figura 15 – Mapa de variabilidade espacial de tamanho de fruto e Produtividade sobreposto aos de pH, matéria orgânica (M.O.), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) no solo no ano de 2009.



5- CONCLUSÕES

1. Os mapas de produtividade e tamanho dos frutos mostram alta variabilidade espacial nos anos de 2007 a 2009.

2. Não houve influencia da produtividade pelo tamanho dos frutos e sim pela quantidade de frutos por planta durante os três anos de avaliação.

3 A utilização da geoestatística se mostrou satisfatória tanto para demonstrar a variabilidade espacial bem como mapear o talhão, sendo de fundamental importância para a agricultura de precisão no que tange a cultura de citros.

4. Não houve influencia do pH, M.O., P, K, Ca e Mg na produtividade e tamanho dos frutos nos anos de 2007 e 2009.

5. Os macronutrientes e M.O. apresentaram dependência espacial nos dois anos de análise.

6. A maior produtividade apresentada no ano de 2008 está relacionada com os maiores índices pluviométricos deste período.

7. Os mapas de produtividade, diâmetro dos frutos, pH e matéria orgânica (M.O.) e macronutrientes no solo (P, K, Ca e Mg) gerados mostraram as diferenças existentes entre as regiões representadas pelos diversos pontos amostrais levantados, permitindo a identificação de subáreas onde o gerenciamento das práticas de campo pode ser orientada em conformidade com o grau da variabilidade.

6- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, M. C.; BAUMGARTNER, J. G. Efeitos da adubação nitrogenada e potássica na produção e na qualidade de frutos de laranjeira-‘valência’. **Revista Brasileira Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 24, n. 1, p. 282-284, abr. 2002.

ANJOS, J. L.; SOBRAL, L. F.; JUNIOR, M. A. L. Efeito da calagem em atributos químicos do solo e na produção da laranjeira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 11, p. 1138-1142, 2011.

ANNAMALAI, P.; LEE, W. S. Citrus Yield Mapping System Using Machine Vision. In: _____. **ASAE Annual International Meeting**. Las Vegas: ASAE, 2003.

ANSCOMBE, F. J. S. **Theory of the Negative Binomial and Logarithmic Series Distributions Biometrika**. Local: editora, 1950. p. 358–382.

ARVUS TECNOLOGIA. **Agricultura de precisão: conceitos**. Florianópolis, 2007. Disponível em: <http://www.arvus.com.br/infos_AP.htm>. Acesso em: jul. 2011.

ASCE, Review of geostatistics in geohydrology. I: basics concepts. *Journal of Hydraulic Engineering*, New York, v.116, n.5, p.612-632. 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS EXPORTADORES DE CITRÍCOS. **Exportações de FCOJ (suco concentrado de laranja)- Safra 2004-2005**. Disponível em: <<http://www.abcitrus.com.br/expormes.html>>. Acesso em: 15 dez. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS EXPORTADORES DE CITRÍCOS. **Produção de laranja**. Ribeirão Preto, 2006. Disponível em: <<http://abcitrus.com.br>>

BALASTREIRE, L.A.; AMARAL, J.R.; ESQUERDO, J.C.D.M. Agricultura de Precisão: mapeamento da produtividade de uma cultura de laranja. In: Balastreire, L.A. **Avanços na agricultura de precisão no Brasil no período de 1999-2001**. Piracicaba: ESALQ/LER, Cap.2, p.151-7. 2002.

BALASTREIRE, L.A.; ELIAS, A.I.; AMARAL, J.R. Agricultura de precisão: mapeamento da produtividade da cultura de milho. **Engenharia Rural**, Piracicaba, v.8, n.1, p.97-111, 1997.

BALASTREIRE, LA Aplicação Localizada de Insumos - ALI: Um velho conceito novo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 23., 1994, Campinas. Anais ... Campinas: UNICAMP, 1994. p.248.

BALTCHELOR.; REED, H.S Relation of the variability of yields of fruit trees to the accuracy of field trials. *Journal Agricultural Resources*, Melbourne, v.12, p.245-283, 1918.

BARBIERI, D.M. ; SOUZA, Z.M. ; MARQUES JÚNIOR, J.; CORÁ, J. E. ; PEREIRA, G. T. ; BENTO, M.J.C. Variabilidade espacial de fósforo, potássio e soma de bases em um latossolo vermelho eutroférrico sob cultivo de cana-de-açúcar na região de Jaboticabal, SP. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 25.; IX REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 9.; VII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 9.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 4., 2002, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBCS, 2002. p.28.

BERALDO, J.M.G.; CORÁ, J.E.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.T.; ARAUJO,AV.; POCAV, v.G. Recomendações da necessidade de calagem determinadas com base na média dos resultados de análises do solo para diferentes intensidades de amostragens. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 24., 2000, Santa Maria. Anais ... Santa Maria: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. 1 CD-Rom.

BERNOUX, M.M.Y.; ARROUAYS, D.; CERRI, C.C.; BOURENNANE, H. Modeling vertical distribution of carbon in Oxisols of the western Brazilian Amazon. **Soil Science**, Baltimore, v.163, p.941-951, 1998b.

BHATII, A.U.; MULLA, D. J.; FPRIER, 8.E. Estimation of soil properties and wheat yields on complex eroded hills using geostatistics and thematic mapper images. *Rem. Senso Envir.*, S1. Paul, v. 37, p.181-191, 1991.

BORA, G. C.; EHSANI, M. R.; GOODRICH, R.; MICHAELS, G. Field Evaluation of a Citrus Fruit Pick-up Machine. In ASAE Annual International Meeting. Potland. ASAE (Paper 06114) 2006.

BRAGATO, G.; PRIMAVERA, F.. Manuring and soil type influence on spatial variation of soil organic matter properties. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.62, p. 1313-1319, 1998.

BRESLER, E.; DASBERG, S. RUSSO, D.; DAGAN, G. Spatial variability ar crop yield as a stochastic soil processo *Soil Sei. Soc. Am. J.*, v. 45, p. 600-605, 1981.

CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F. & KONOPKA, A.E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58:1501-1511, 1994.

CAMELO, L.G.L. et al. Variabilidade espacial de fosforo en suelo y planta en un Argiudol Tipico bajo cultivo de maiz. **R. Fac. Agron.**, v.14, p.1-8, 1993.

CASTRIGNANO, A.; GIUGLIARINI, L.; RISALITI, R.; MARTINELLI, N.. Study of spatial relationships among soil physico-chemical properties of a field in central Italy using multivariate geostatistics. **Geoderma**, Amsterdam, v.97, n. 1/2, p.39-60, 2000.

CHAMPAMAN, H.D. The status of present criteria for the diagnostic of nutrient conditions in citrus. In: REUTHER, W. Plant analisis and fertilizers problems. (S.L): American Institute of Biological Science, p.75-106. 1961.

CHAVES, L. H. G.; FARIAS, C. H. A. Variabilidade espacial de cobre e manganês em Argissolo sob cultivo de cana-de-açúcar. *Revista Ciência Agronômica*, v.40, p.211-218, 2009.

CHEVALLIER, T.; VOLTZ, M.; BLANCHART, E.; CHOTTE, J.L.; ESCHENBRENNER, V.; MAHIEU, M.; ALBRECHT, A.. Spatial and temporal changes in soil C after establishment of a pasture on a long-term cultivated vertisol (Martinique). **Geoderma**, Amsterdam, v.94, n.1, p.43-58, 2000.

CLARK, R.L. **Evaluation of the potential to develop soil strength maps using a cone penetrometer**. St. Joseph: ASAE, 1999.

COLACO, A. F., CARLOS, E. F., MOLIN, J. P., ALVES, W. J. Mapeamento de produtividade, fertilidade do solo, e falhas causadas por HLB e Declínio em pomar comercial de citros. In: Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão – Conbap, Piracicaba-SP, 2008.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS (CFSEMG). Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5. aprox. Viçosa, MG: CFSEMG, 1999.

COSTA, C.G.; MACHADO, R.D.; FONTENELLE, J.B.. Sistema vascular em folhas de Eugenia L. (Myrtaceae). Boletim do Herbarium Bradeanum, p. 345-355. 1995.

DAMPNEY, P. M. R.; MOORE, M. Precision agriculture in England: Current practice and research-based advice to farmers. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4., 1998, St. Paul. Proceedings ... Madison: American Society of Agronomy, Part A, p.661-673.1999.

DAVIS, G.; CASADY, W.; MASSEY, R. **Precision agriculture: an introduction**. Water quality. University of Missouri-System, 1998. p.8. Disponível em: <<http://www.fse.missouri.edu/mpac/pubs/wq0450.pdf>>. Acesso em 17 jun. 2011.

DECHEN, AR; BATAGLIA, OC; SANTOS, WR Conceitos fundamentais da interpretação da análise de plantas. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 21., 1994. Petrolina. Anais do simpósio: fertilizantes: insumo básico para agricultura e combate à fome. Petrolina: EMBRAPA-CPATSA: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 87-113. 1995.

DIAS, G.P. Automação e instrumentação para agricultura de precisão. In: MECANIZAÇÃO E AGRICULTURA DE PRECISAO, Lavras-MG: UFLA/SBEA, p.71-156. 1998.

DOBERMANN, A.; GEORGE, T. Field-scale soil fertility variability in acid tropical soils. In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 15., 1994, Acapulco. Transactions. Acapulco, v.5. p.610-627. 1994.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. Tecnologia de produção de soja- região central do Brasil. Londrina, 242 p. 2003.

FARIAS, P.R.S.; NOCITI, L.A.S.; BARBOSA, J.C.; PERECIN, D. Agricultura de precisão: mapeamento da produtividade em pomares de cítricos usando geoestatística. Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal, v.25, n.2, p.235-241, 2003.

FERRAZ, G. A. E S.; SILVA, F. M.; COSTA P. A. N.; SILVA, A. C.; CARVALHO, F. M. Agricultura de precisão no estudo de atributos químicos do solo e da produtividade de lavoura cafeeira. Coffee Science, Lavras, v. 7, n. 1, p. 59-67, jan./abr. 2012.

FERRIS, H., AND L. T. WILSON. Concepts and principles of population dynamics. in J. Veech and D. W. Dickson, eds. Vistas on nematology. Hyattsville, MD: Society of Nematologists, P. 372–376, 1987.

FIDALSKI, J.; AULER, P. A. M.. Adubação nitrogenada e precipitação sobre a nutrição e produção de laranja. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília- DF, v.42, n.2, p.141-146, fev. 2007.

FIETZ, C.R.; FABRICIO, A.C. & SALTON, J.C. 2000. Mapa de aplicação localizada de calcário em uma área experimental. In: BALASTREIRE, L.A. O estado da arte da agricultura de precisão no Brasil. Piracicaba, ESALQ. p.165-169.

FOCHT, D.; ROLOFF, G.; SCHIEBELBEIN, L. M.. Benefícios agronômicos, ambientais e monetários do uso da agricultura de precisão em diferentes cenários brasileiros. In CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 8p.,2004, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: ESALQ/USP, 2004.

GONÇALVES, A.C.A. **Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo para fins de manejo de irrigação**. 1997. 118 p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1997.

GOOVAERTS, P. Geostatistical tools for characterizing the spatial variability of microbiological and physico-chemical soil properties. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.27, p.315-334, 1998.

GRUPO PAULISTA DE ADUBAÇÃO E CALAGEM PARA CITROS (Cordeirópolis, São Paulo). Recomendações de adubação e calagem para citros no Estado de São Paulo. Laranja, v.15, p.1-27,1994. Edição especial.

GUERRA, P. A. G. Geoestatística operacional. Ministério das Minas e Energia, 1988. 145p.
HAN, S.; HUMMEL, J.W.; GOERING, C. E.; CAHN, M.D. Cell size selection for sitespecific crop management. Trans. ASAE., St. Joseph, v.37, n.1, p.19-26, 1994.

HOPKINS, J. W. et a. Learning from yield monitors: A Bayesian approach. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4., 1998, St. Paul. **Proceedings...** Madison: American Society of Agronomy, Part A, p.183-93,1999.

HORROM, N. Citrus yield monitoring and mapping. In: INTERNATIONAL SOCIETY OF CITRICULTURE CONGRESS, 2000. Orlando. **Proceedings...** Orlando: ISC, p.219. 2000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA. Levantamento sistemático da produção agrícola, 2005. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>.

ISSAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R M. A Introduction to applied geostatistics. Oxford: University Press, p.561. 1989.

JOHANN, J.A.; URIBE-OPAZO, M.A.; SOUZA, E.G. & ROCHA, J.V. Variabilidade espacial dos atributos físicos do solo e da produtividade em um Latossolo Bruno Distrófico da região de Cascavel, PR. R. Bras. Eng. Agríc. Amb., 8:212-219, 2004.

JOURNEL, A.G.; HUIJBREGTS, C.H.J. Mining geostatistics. London: Academic Press, p.600 1978.

KANE, K. E., LEE, W. S. Multispectral imaging for in-field green citrus identification. In ASAE Annual International Meeting. Minneapolis: ASAE (Paper, 073025), 2007.

KRIGE, D. G. A statistical approach to some basic mine evaluation problems on the Witwatersrand. Journal of South African Institution of Mining and Metallurgy, Johannesburg, v.52, p.119-139, 1951.

LAMPARELLI, R.A.C., ROCHA, J.V., BORGHI, E. Geoprocessamento e Agricultura de Precisão. Ed. Agropecuária, 2001, 118p.

LOPES, F. A. **Adubação em doses variadas em citros**. 2010. 76 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Botucatu, 2010.

MACEDO, M. A. R.; OLIVEIRA, M. L.; MARQUES, D. C. S.; COSTA, M. G.; SANTOS, M. A. S. Fontes de crescimento da produção de laranja na microrregião do Guamá no período de 2001-2009. In: SEMINÁRIO ANUAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 9., 2011, Belém- PA. **Anais**. Belém, PA: UFRA, 2011.

MALAVOLTA, E.; MOREIRA, A.; LEÃO, H.C. Nutrição e adubação dos citros produção, qualidade e doenças. In: SIMPÓSIO SOBRE FISIOLOGIA, NUTRIÇÃO, ADUBAÇÃO E MANEJO PARA PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL DE CITROS, 2000, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: POTAFÖS, 2003. CD-ROM.

MALAVOLTA, E.; VIOLANTE NETTO, A. Nutrição mineral, calagem, gessagem e adubação dos citros. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 153 p. 1997.

MALZER, G. L. Is Precision farming good for society. *Better Crops With Plant Food*, Norcross, v. 80, n. 3, p. 6-8, 1996.

MANTOVANI, E.C.; QUEIROZ, D.M.; DIAS, G.P. Máquinas e operações utilizadas na agricultura de precisão. In: SILVA, F.M.; BORGES, P. H. M. Mecanização e agricultura de precisão. Poços de Caldas: UFLA/SBEA, capa, p. 109 -158. 1998.

MANZATTO, C.V.; BHERING, S.B.; SIMÕES, M. **Agricultura de Precisão: Propostas e ações da EMBRAPA Solos**. EMBRAPA Solos, 1999. Disponível em: <<http://www.cnps.embrapa.br/search/pesqs/proj01/proj01.html>>. Acesso em: 01 out. 2011.

MAPA, R.B.; KUMARAGAMAGE, D. Variability of soil properties in a tropical alfisol used for shifting cultivation. **Soil Technology**, Amsterdam, v.9, p.187-197, 1996.

MARTINS, A. N.; ORTOLANI, A. A. Estimativa de produção de laranja valência pela adaptação de um modelo agrometeorológico. *Bragantia*, Campinas, v.65, n.2, p.355-361, 2006.

MASCARIN, L. S. Caracterização do sistema de colheita e desenvolvimento de técnica para obtenção de mapas de produtividade para citros. 2006 78 p. Dissertação de Mestrado – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

MATHERON, G. Principles of geostatistics. *Econ. Geol.*, Ottawa, v.58, p.1246-1266, 1963.

MENEGATTI, L.A.A.; MOLIN, J.P. Metodologia para identificação e caracterização de erros em mapas de produtividade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.2, p.367-374, 2004.

MERCANTE, E.; URIBE-OPAZO, M.A.; SOUZA, E.G. Variabilidade espacial e temporal da resistência mecânica do solo à penetração em áreas com e sem manejo químico localizado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.6, p.1149-1159, nov./dez. 2003.

MILLER, T. J.; FRISK, M. G.; AND FOGARTY, M. J. (2003) Comment on Mollet and Cailliet (2002): Confronting models with data. *Manne and Freshwater Research* 54, p. 737-738.

MILLER, W.M.; WHITNEY, J.D. Development of yield monitoring systems for Florida citrus. ASAE Annual International Meeting, 1998, Orlando. **Proceedings...** St. Joseph. ASAE, 1998. 12p. (Paper, 981098).

MOLIN, J. P. Agricultura de precisão. Parte II: Diagnostico, Aplicação Localizada e Considerações econômicas. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, V.17, n.2, p.108-121, Dez.1997b.

MOLIN, J. P. **Agricultura de precisão**: o gerenciamento da variabilidade. Piracicaba, p. 83 2001.

MOLIN, J. P. Tendências da agricultura de precisão no Brasil. Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão. Piracicaba, SP – ESALQ/USP. 2004.

MOLIN, J. P. Utilização de GPS em Agricultura de precisão. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, V.17, n.3, p.121-132, Mar.1998.

MOLIN, J.P. Geração e interpretação de mapas de produtividade para a agricultura de precisão. In: BORÉM, A.B. *et al.* **Agricultura de precisão**. Viçosa: UFV, p. 237-258. 2000.

MOLIN, J.P; MASCARIN, L.S. Colheita de citros e obtenção de dados para mapeamento da produtividade. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.1, p.259- 266, Jan-Abr. 2007.

MULLA, D. J.; BHATTI, A. U.; KUNKEL, R Methods for removing spatial variability from field research trials. *Adv. Soil Sei.*, New York, v. 13, p.201-213, 1990.

NIEDERHOLZER, F. Improving the nutrient efficiency of tree crops. In: CALIFORNIA PLANT AND SOIL CONFERENCE, 2007. Sacramento. **Proceedings...**Madison: ASA-CSSA-SSSA, p.63-70. 2007.

OLIVEIRA, J.J. *et al.* Variabilidade espacial de propriedades químicas em um solo salino-sódico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.783-789, 1999.

OLIVEIRA, P.C.G et al. Variabilidade espacial de propriedades químicas do solo e da produtividade de citros na Amazônia oriental. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.6, p.708-715, 2009.

PARISE, F.J.O. **Padrões de variabilidade espacial e temporal da produção em um pomar jovem de laranja Hamlin**, 2004. 107f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luis de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

PARISE, F.J.O.; VETTORAZZI, C.A. Análise de dados de produção em um pomar jovem de laranjeiras Hamlin: I. Relações com a resposta espectral. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.27, n.1, p.43-47, abr. 2005a.

PARISE, F.J.O.; VETTORAZZI, C.A. Análise de dados de produção em um pomar jovem de laranjeiras Hamlin: II. Classificação de dados espaço-temporais. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.27, n.1, p.48-51, abr. 2005b.

PAULINO, S.E.P. ; VOLPE, C.A. Relações entre a produção de laranja – "Pêra" e algumas variáveis meteorológicas, em Limeira, SP. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 23, n. 1, p. 130-1333. 2001.

PLANT, R.E. Site-specific management: the application of information technology to crop production. *Computers and electronics in agriculture*, new York, v. 20, p. 9-29, 2001.

QUAGGIO, J. A. Conceitos modernos sobre a calagem e adubação para citros no Estado de São Paulo. *Laranja*, v.13, p.457-488, 1992.

QUAGGIO, J.A., D. Mattos Jr., H. Cantarella, and A. Tank Jr. Fertilização com boro e zinco no solo em complementação à aplicação via foliar em laranjeira Pêra. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* v.38, p. 627-634, 2003.

QUEIROZ, D.M de.; DIAS, G.P.; MANTOVANI, E.C. Agricultura de precisão na produção de grãos. In: BORÉM, A. et al. (Ed.), *Agricultura de Precisão*. Viçosa: UFV, p.1-42. 2000.

RAIJ, B. Van. Fertilidade do solo e adubação. São Paulo: Agronomia Ceres, 1991. p164-165, 1991.

ROCHA, J.V., LAMPARELLI, R.A.C. Geoprocessamento. In: *Mecanização e agricultura de precisão*, Lavras-MG: UFLA/SBEA, p.1-30. 1998.

SANTOS, E. J.; GONTIJO, I.; L. R. NICOLE. Variabilidade espacial de cálcio, magnésio, fósforo, potássio no solo e produtividade da pimenta-do-reino. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, n.10, p.1062–1068, 2012.

SARAIVA, A. M.; CUGNASCA, C. E.; HIRAKAWA, A. R. Aplicação em taxa variável de fertilizantes e sementes. In: BORÉM, A. et al. (Org.) **Agricultura de precisão**. Viçosa. UFV, p. 109-145. 2000.

SCHUELLER, J. K.; WHITNEY, J. D.; WHEATON, T.A.; MILLER, W.M.; TURNER, A.E. Low-cost automatic. Yield mapping in hand-harvested citrus. *Computer and Electronics in agriculture*, New York, v.23, p.145-153, 1999.

SHUELLER, J.K.; WHITNEY, J.D.; WHEATON, T.A.; MILLER, W.M.; TURNER, A.E. Low-cost automatic yield mapping in hand-harvested citrus. **Computer and Electronic in Agriculture**, New York, v 23, p. 145-153, 1999.

SHUMANN, A.W.; MILLER, W.M.; ZAMAN, Q.U.; HOSTLER, K.H.; BUHANON, S.; CUGATI, S. Variable rate granular fertilization of citrus groves: spreader performance with single-tree prescription zones. **Applied Engineering in agriculture**, ST. Joseph, V.22, p. 19-24, 2006.

SILVA, E. A. et al. Perspectivas no manejo e controle localizado de doenças das culturas: Uma abordagem no manejo do nematóide de cisto da soja. In: BORÉM, A. et al. (Org.) **Agricultura de precisão**. Viçosa: UFV, p. 409-453. 2000.

SILVA, V.R. et al. Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em um argissolo vermelho-amarelo distrófico arênico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.6, p.1013-1020, nov./dez.2003.

SLOT, M.H.; GENTHNER, M.H.; DANIELS, W.L.; GROOVER, V.A. Spatial variability in Palustrine wetlands. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.65, p.527-535, 2001.

SMITH PF, REUTHER W, SPECHT AW, HRNCIAR G. Effect of Differential Nitrogen, Potassium, and Magnesium Supply to Young Valencia Orange Trees in Sand Culture on Mineral Composition Especially of Leaves and Fibrous Roots. *Plant Physiol.* Jul;29(4):349–355.1954.

SOBRAL, L. F.; SOUZA, C. F. S.; MAGALHÃES, A. T. J.; SILVA, J. U. B.; LEAL, L. S. L. Resposta da laranja-pêra à adubação com nitrogênio, fósforo e potássio em latossolo Amarelo dos tabuleiros costeiros. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília- DF, v.35, n.2, p.307-312, fev. 2000.

SOUZA, D. M. G. de; LOBATO, E. Cerrado: correção do solo e adubação. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004.

SOUZA, L. S. **Variabilidade espacial do solo em sistemas de manejo**. 1992. 162 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SWINGLE, WT A botânica de citros e seus parentes selvagens. Em: Reuther, W., WEBBER, HJ, Batchelor, LD (Ed.) *A indústria de Citrus*. 2.ed. Berkeley: Universidade da Califórnia, em. v.1 (III), p.190-430, 1967.

TRANGMAR, B. B., YOST, R. S.; UEHARA, G. Applications of geostatistics to spatial studies of soil properties. *Adv. Agron.*, Madison, v.38, p 45-94, 1985.

TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; WADE, M. K.; UEHARA, G.; SUDJADI, M. Spatial variation of soil properties and rice yield on recently cleared land. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, V.51, p.668-674,1987.

TREVISAN, M. G. Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de laranja valência (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck). Dissertação de Mestrado- Universidade de Marília, São Paulo, 59 p. 2008.

TUBELIS, A.; SALIBE, A.A. A estimativa de safra de laranja Hamlin em cinco porta-enxertos. *Laranja, Cordeirópolis*, v.2, n.10, p.531-543, 1988.

TUMBO, S.; WHITNEY, J.; MILLERW.; WHEATON,T. “Design and testing of a site-specific citrus yield monitor”, In: ASAE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 2001, Sacramento. **Paper...** Sacramento, : American Society of Agricultural Engineer,. (paper, 01-01183). p.399-403. 2002.

TWEETEN, L. Is precision farming good for society? *Better Crops With Plant Food*, Norcross, v. 80, n. 3, p.3-5, 1996.

USDA. **Production, supply and distribution Online**. Disponível em: <http://www.fas.usda.gov/psdonline/psdHome.aspx>. Acesso em: janeiro 2012.

VANNI, S.M. Modelos de regressão: Estatística aplicada. São Paulo, Legmar Informática, 177p. 1998.

VELOSO, C. A. C.; MUNIZ, A. C. M.; PEREIRA, W. L. M.; CARVALHO, E. J. M. Rendimento e qualidade de frutos de laranjeira submetida à adubação com NPK em Latossolo amarelo. *Revista de ciências Agrárias*, Belém, n.40, p.133-144, 2003.

VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, RF.; ALVARES, V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R. Tópicos em ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.1-54. 2000.

WAGNER, L.E.; SCHROCK, M.D. Yield determination using a pivoted auger flow sensor. *Transactions of the ASAE*, v.32, n.2, p.409-413, Apr. 1989.

WARICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). *Applications of soil physics*. New York: Academic Press, p.319-344, 1980.

WEBSTER, R.; OLIVER, M.A. *Statistical methods in soil and land resource survey*. Oxford: Oxford University press, 316 p. 1990.

WHITE, J.G.; WELCH, R.M.; NORVELL, W.A.. Soil zinc map of the USA using geostatistics and geographic information system. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.61, p.185-194, 1997.

WHITNEY, J. D. Field test results with mechanical harvesting equipment in Florida oranges. St. Joseph: ASAE, (Paper, 98-1092), 1998.

YANG, J.I.; MOSBY, D.E.; CASTEEL, S.W.; BLANCHARD, R.W. Microscale pH variability for assessing of phosphoric acid treatment in lead-contaminated soil. *Soil Science*, Baltimore, v.66, n.6, p.374-381, 2001.

ZAMAN, Q. U. ; SHUMANN, A. W. HOSTLER, K. H. Estimation of citrus fruit yield using ultrasonically-sensed tree size. *Applied Engineering in Agriculture*, St. Joseph. V.22, p. 39-44, 2006.