**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Efeito da adubação em doses variadas em pomares de laranjeiras ao longo
de quatro safras**

André Freitas Colaço

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração: Engenharia
de Sistemas Agrícolas

**Piracicaba
2012**

André Freitas Colaço
Engenheiro Agrônomo

**Efeito da adubação em doses variadas em pomares de laranjeiras ao longo
de quatro safras**

Orientador:
Prof. Dr. **JOSÉ PAULO MOLIN**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração: Engenharia
de Sistemas Agrícolas

**Piracicaba
2012**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - ESALQ/USP**

Colaço, André Freitas

Efeito da adubação em doses variadas em pomares de laranjeiras ao longo de
quatro safras / André Freitas Colaço.- - Piracicaba, 2012.
104 p: il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2012.

1. Adubação 2. Agricultura de precisão 3. Fertilizantes 4. Laranja 5. Produtividade
6. Safra I. Título

CDD 634.31
C683e

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

**Aos meus pais, Ailton de Almeida Colaço e Lucy de Freitas Colaço,
dedico.**

AGRADECIMENTOS

À gloriosa Escola Superior de Agricultura ‘Luiz de Queiroz’ pelas oportunidades oferecidas e acolhimento em seu *campus*.

Ao Professor Dr. José Paulo Molin pela orientação e convívio ao longo da minha formação profissional e acadêmica.

Ao Departamento de Engenharia de Biosistemas, representado por todos os seus funcionários que apoiam as pesquisas e os seus alunos.

À Citrosuco, pela parceria e confiança, especialmente ao Sr. Adalberto Aparecido Alves e ao Eng^o Agrônomo Wilson Pavin Jr. pela presteza e auxílio nas atividades de campo.

À Jacto, pela parceria, especialmente aos Eng^{os} Denis Y. Sakuma e Wilson M. Stanislavski pela prontidão e apoio durante as adubações no experimento.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela bolsa de estudo concedida durante o período desse trabalho.

Aos colegas que contribuíram grandemente nas coletas de dados durante as colheitas do experimento, Hugo J. A. Rosa, Mark Spekken, João Paulo S. Veiga, Lucas Cortinove e Miller A. R. Sanchez.

Aos colegas e amigos da Pós-Graduação, Adriano A. Anselmi, André F. Ferreira, Carlos A. Z. de Souza, Erik A. Barreto Jr., Fernanda C. S. Silva, Giancarlo C. Rocco, Gustavo Portz, Hugo J. A. Rosa, João Paulo S. Veiga, Leonan J. L. de Paula, Lucas R. do Amaral, Maria Carolina S. Andréa, Mark Spekken, Nelson C. Franco Jr., Rafael C. Tieppo, Raniére R. Vieira e Prof. Dr. Thiago L. Romanelli, pelo companheirismo e momentos de descontração.

Ao gMAP, por me proporcionar formação e treinamento na área de mecanização e agricultura de precisão e pela troca de experiências e amizades.

Aos grandes amigos Diego G. Chiou, Erik A. Barreto Jr., Heitor H. Arakawa, Leonardo Bordin, Camila M. Ortiz, Mônica Georgino e Viviane P. Paulenas, que mesmo distantes também fizeram parte dessa conquista.

A todos os meus familiares e especialmente ao meu avô Ciro de Freitas (*in memorian*), que gostaria muito de ter lido esse trabalho.

À minha querida Larissa G. Pagliuca, pelo carinho, companheirismo e por me encorajar a cada dia durante a execução e escrita desse trabalho.

À minha família Ailton de A. Colaço, Lucy de F. Colaço, Rafael F. Colaço e Raquel F. Colaço que sempre me apoiam nos meus caminhos.

*“Man will occasionally stumble over the truth, but usually manages to pick himself up,
walk over or around it, and carry on.”*

Winston S. Churchill.

“We cannot solve our problems with the same thinking we used when we created them.”

Albert Einstein.

SUMÁRIO

RESUMO	11
ABSTRACT	13
LISTA DE FIGURAS	15
LISTA DE TABELAS	17
1 INTRODUÇÃO	19
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1 Citricultura.....	21
2.2 Agricultura de Precisão	23
2.3 Agricultura de Precisão na citricultura.....	25
2.3.1 Aspectos gerais	25
2.3.2 Mapeamento da produtividade.....	26
2.3.3 Tratamentos em taxas variáveis	27
2.3.4 Outras aplicações	29
2.4 Citricultura de precisão no Brasil	30
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	33
3.1 Áreas experimentais	33
3.2 Delineamento experimental	33
3.3 Amostragem de solo e folhas.....	34
3.4 Colheita e mapeamento da produtividade	36
3.5 Mapeamento da variabilidade espacial de fatores permanentes	37
3.6 Recomendações e adubações em doses variadas	38
3.7 Recomendações e adubações em dose fixa	41
3.8 Análise da qualidade dos frutos e do suco.....	42
3.9 Análise dos dados e geoestatística	43
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
4.1 Variabilidade espacial de fatores permanentes	47
4.2 Adubações em doses variadas e uso de insumos	49
4.3 Análise geoestatística	56
4.4 Atributos químicos do solo	60
4.5 Atributos químicos das folhas.....	67
4.6 Qualidade dos frutos e do suco	71
4.7 Produtividade.....	73

4.8 Avaliação geral	76
5 CONCLUSÕES	79
REFERÊNCIAS.....	81
ANEXOS	93

RESUMO

Efeito da adubação em doses variadas em pomares de laranjeiras ao longo de quatro safras

A citricultura tem um papel importante para a agricultura brasileira, porém enfrenta hoje desafios econômicos e fitossanitários que tem restringido a sua sustentabilidade. Dessa forma, novas estratégias de gerenciamento que proporcionem maior eficiência e menores custos de produção têm sido buscadas. Nesse sentido, a Agricultura de Precisão (AP) é considerada como uma das alternativas para aumentar a competitividade do setor. A AP tem como princípio conduzir produções agrícolas de acordo com a sua variabilidade espacial e, portanto as ações de manejo devem ser aplicadas de maneira localizada dentro de uma mesma unidade de produção. Na citricultura, embora essa tecnologia tenha sido abordada pela pesquisa no final da década de 1990, a adoção ainda é baixa no Brasil. A principal técnica do manejo localizado é a aplicação de insumos em taxas variáveis, porém, ainda não é conhecido o seu efeito em parâmetros agrônômicos da cultura da laranja, especialmente durante um longo período de observação. Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo avaliar nessa cultura o efeito de aplicações em doses variadas de fertilizantes e calcário no consumo dos insumos, na produtividade, fertilidade do solo, nutrição das plantas e na qualidade dos frutos e do suco, em contraste ao manejo convencional. Dois pomares foram utilizados para a implantação dos tratamentos “dose variável” (DV) e “dose fixa” (DF). Eles foram intercalados a cada par de fileiras de plantas ao longo dos dois talhões. No tratamento DV as aplicações de nitrogênio, fósforo, potássio e calcário foram conduzidas a partir de mapas de recomendação baseados em amostragens georreferenciadas de solo e folhas e em mapas de produtividade. Já no tratamento DF, as aplicações foram realizadas em doses fixas e baseadas no método convencional de recomendação, a partir de uma amostra de solo e folha em toda a área e da estimativa da produtividade. Os tratamentos foram conduzidos durante quatro anos, de 2008 a 2011. Foi observada significativa redução no uso de insumos, especialmente dos adubos nitrogenados (37 e 51% de redução em cada área) e potássicos (41 e 18% de redução em cada área). Em uma das áreas melhor adequação dos níveis de fertilidade foi observada no tratamento variável, pois regiões com excesso de nutrientes foram reduzidas, aumentando áreas com nível adequado de potássio e saturação de bases. Ganhos de até 13,1% na produtividade também ocorreram nessa área. Na segunda área avaliada prejuízo à fertilidade do solo e à produtividade foi obtido no manejo localizado em dois dos quatro anos avaliados. Melhor qualidade do suco foi proporcionada pelo tratamento variável referente à acidez e à relação entre sólidos solúveis e acidez. A nutrição foliar das plantas não foi afetada pelos tratamentos. A AP possibilitou principalmente a otimização e aumento na eficiência de uso de fertilizantes. Esse estudo também demonstrou o potencial da tecnologia em aumentar a produtividade e aprimorar o manejo da fertilidade do solo.

Palavras-chave: Agricultura de precisão; Citros; Produtividade; Consumo de fertilizantes

ABSTRACT

Effects of variable rate fertilization on orange groves during four seasons

Citrus has an important role in the Brazilian agriculture, however it now faces economical and fitossanitary challenges that restricts its sustainability. So, new management strategies that provide higher efficiency and lower production cost has been searched. In this context, Precision Agriculture (PA) is considered as one of several alternatives to increase competitiveness in the production sector. PA relies on the management of crops based on their special variability therefore managing actions must be applied site specifically within a production field. In citrus, although this technology has been approached by research in the late 1990's, adoption is still low in Brazil. The main technique of the site-specific management is the variable rate application of inputs however the effects on citrus agronomical aspects are still unknown, especially during long periods of observation. Thus, the objective of this work was to evaluate the effects of the variable rate application of fertilizers and lime on input consumption, yield, soil fertility, plant nutrition and on fruit and juice quality on citrus. Two citrus groves were used to allocate the variable rate (VR) and fixed rate (FR) treatment. They were placed in intercalated pairs of tree rows along the two fields. On the VR treatment applications of nitrogen, phosphorus, potassium and lime were carried according to prescription maps, which were based on soil and leaf georeferenced sampling and on yield mapping. In the FR treatment application followed the conventional prescription method, based on a single soil and leaf sample and on yield estimation. Treatments were conducted during four years, from 2008 to 2011. Significant reduction on input consumption was observed, mainly for nitrogen (37 and 51% less on each area) and potassium fertilizers (41 and 18% less on each area). In one of the two fields better fertility levels were found on the VR treatment, once it reduced regions with excess of nutrients and enlarged areas of adequate levels of potassium and bases saturation. Yield gains up to 13.1% occurred on this field. In the second field loss on soil fertility and yield was found on the site-specific management in two of the four years evaluated. Better juice quality occurred on the variable treatment regarding acidity and soluble solids and acidity ratio. Leaf nutrition was not affected by the treatments. PA allowed optimization and higher fertilizer use efficiency. This study also showed the potential of this technology to increase yield and improve soil fertility management.

Keywords: Precision agriculture; Citrus; Yield; Fertilizer consumption

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Croqui experimental; tratamentos implantados em pares de fileiras intercaladas (linhas em negrito dentro de cada área representam as fileiras do tratamento em dose variável).....	34
Figura 2 - Grade amostral utilizada para amostragem de solo e folhas nas duas áreas experimentais.....	35
Figura 3 - Croqui do local de coleta das subamostras nos dois tratamentos em cada ponto da grade amostral.....	35
Figura 4 - Sensor Veris 3000 utilizado para o mapeamento da condutividade elétrica do solo nos pomares (a). Esquema do campo elétrico gerado pelos eletrodos no solo (b); Fonte: Veris Technologies < www.veristech.com >).	38
Figura 5 - Valores de recomendação de P_2O_5 em função do nível do elemento no solo e produtividade esperada.....	39
Figura 6 - Máquina adubadora protótipo utilizada para aplicações em doses variadas: a) controlador hidráulico da velocidade da esteira e de altura da comporta dosadora; b) dosador do tipo volumétrico; c) terminal do controlador na cabine do trator; d) aplicação direcionada sob a copa das plantas.	41
Figura 7 - Exemplo de um semivariograma com a dispersão de pontos, o modelo matemático ajustado aos pontos e os parâmetros C_0 , C_1 e A	44
Figura 8 - Tipos de semivariogramas: (a) hipótese intrínseca (semivariograma sem patamar); (b) estacionaridade de segunda ordem (semivariograma com patamar); (c) efeito pepita puro.	45
Figura 9 - Mapas da altitude das áreas experimentais.	47
Figura 10 - Mapas do teor de argila nas áreas experimentais.....	48
Figura 11 - Mapas da condutividade elétrica do solo na camada de 0 a 30 cm de profundidade.	48
Figura 12 - Variação de doses nos mapas de recomendação de N, P_2O_5 e K_2O na área 1.	52
Figura 13 - Variação de doses nos mapas de recomendação de N, P_2O_5 e K_2O na área 2.	53
Figura 14 - Necessidade de calcário nas áreas 1 e 2 para aplicações no tratamento DV.....	54
Figura 15 - Quantidades totais de insumos aplicadas nos tratamentos DV e DF, nas duas áreas, durante quatro anos e diferenças da quantidade aplicada no tratamento DV em relação ao DF.	55

Figura 16 - Mapas de atributos químicos do solo na área 1.....	63
Figura 17 - Percentual da área 1 classificada como “alto”, “médio”, “baixo” e “muito baixo” para os níveis de K, P e V% nos tratamentos DV e DF.....	63
Figura 18 - Mapas de atributos químicos do solo na área 2.....	66
Figura 19 - Percentual da área 2 classificada como “alto”, “médio”, “baixo” e “muito baixo” para os níveis de K, P e V% nos tratamentos DV e DF.....	66
Figura 20 - Mapas de atributos químicos de folha na área 1.....	70
Figura 21 - Mapas de atributos químicos de folha na área 2.....	70
Figura 22 - Mapas de produtividade obtidos em cada tratamento, de 2008 a 2012.	75
Figura 23: Eficiência de uso de fertilizantes para dose de aplicação fixa e variável.....	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classes de interpretação dos teores de P, K e V% do solo.	36
Tabela 2 - Classes de interpretação dos teores de N, P e K foliar.	36
Tabela 3 - Recomendação de adubação em função de análises de solo e folhas e das classes de produção.	39
Tabela 4 - Efeitos dos nutrientes na qualidade do fruto e do suco.	42
Tabela 5 - Estatística descritiva das doses recomendadas em taxa variável de N, P ₂ O ₅ e K ₂ O.	51
Tabela 6 - Diferenças no total utilizado de insumos durante quatro anos entre dose fixa e variada de aplicação.	55
Tabela 7 - Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas dos dados de N foliar, P, K e V% do solo na área 1.	57
Tabela 8 - Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas dos dados de N foliar, P, K e V% do solo na área 2.	58
Tabela 9 - Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas dos dados de produtividade.	59
Tabela 10 - Estatística descritiva de parâmetros químicos do solo na área 1.	62
Tabela 11 - Estatística descritiva de parâmetros químicos do solo na área 2.	65
Tabela 12 - Estatística descritiva de parâmetros químicos de folha na área 1.	68
Tabela 13 - Estatística descritiva de parâmetros químicos de folha na área 2.	69
Tabela 14 - Parâmetros da qualidade dos frutos e do suco nos tratamentos DV e DF em 2011 e 2012.	71
Tabela 15 - Estatística descritiva da produtividade e total produzido em cada tratamento.	74

1 INTRODUÇÃO

A citricultura é uma das culturas agrícolas mais importantes para o Brasil e para o mundo. O Brasil é o maior país produtor e exportador de suco de laranja, mas ainda apresenta menores produtividades que os EUA, o segundo maior produtor. Nos dois países a citricultura enfrenta atualmente alguns obstáculos para a sua sustentabilidade, como aumento nos custos de produção e instabilidade na comercialização do produto final. A busca por novas tecnologias para aumento da eficiência de produção é apontada como uma das soluções para manter o setor produtivo competitivo.

No final da década de 1990, no estado da Florida, EUA (o principal estado produtor americano), considerou-se para a citricultura uma nova forma de manejo, baseada na variabilidade espacial dos pomares e no tratamento localizado de acordo com a demanda local – ou de cada planta – por insumos. Essas são premissas básicas da Agricultura de Precisão (AP), em contraste à agricultura convencional que distribui insumos de maneira uniforme nos campos de produção desconsiderando a sua heterogeneidade.

Na citricultura tal tecnologia se difundiu nos EUA por possibilitar a redução de custos e diminuir contaminações ambientais. Uma das principais aplicações adotadas nesse país tem sido a aplicação em doses variadas de fertilizantes, guiada pela variação do volume de copa das plantas e do solo. Já no Brasil, pesquisas tem revelado que os pomares podem apresentar alta variabilidade espacial da produtividade e do solo, mesmo em áreas pequenas, o que justifica o seu tratamento localizado. Embora apresente grande potencial, atualmente a adoção das tecnologias de AP para a citricultura no Brasil é baixa.

Alguns trabalhos avaliaram a aplicação em taxa variável na citricultura e constataram benefícios em relação ao uso de insumos. Porém, nenhum deles avaliou o efeito dessa tecnologia nos parâmetros agronômicos da cultura (principalmente na produtividade) e durante longos períodos de observação, o que dificulta a argumentação para a adoção da AP frente aos citricultores.

Normalmente são testadas algumas hipóteses relacionadas ao uso da taxa variável de aplicação: a) que essa tecnologia permita a redução de insumos sem que isso afete a produtividade da cultura; b) que haja aumento da produtividade utilizando a mesma quantidade de insumos; ou c) que além da redução de insumos também ocorra aumento da produtividade. Além do efeito da tecnologia no uso de insumos e na produtividade também é esperado que a AP possa reduzir desequilíbrios na fertilidade do solo e na nutrição das plantas

dentro da área de produção, assim como melhorar aspectos da qualidade final do produto colhido, uma vez que melhores práticas de manejo são adotadas.

Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a aplicação em doses variadas de fertilizantes e corretivo na cultura da laranja e verificar seu efeito no consumo dos insumos, na produtividade, na fertilidade do solo, na nutrição das plantas e na qualidade dos frutos e do suco, ao longo de quatro safras.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica abordará a citricultura e a AP. Na citricultura, alguns aspectos econômicos e agrônômicos têm sido obstáculos para a sustentabilidade do setor, e alimentam a busca por novas formas de manejo capazes de aumentar a eficiência produtiva. A AP é uma tecnologia que se expandiu grandemente nas últimas décadas, e será apresentado o seu desenvolvimento nas culturas anuais e as mais recentes aplicações na citricultura. Esse capítulo também demonstra a demanda pelo presente trabalho e o contextualiza no panorama da pesquisa atual.

2.1 Citricultura

A laranjeira (*Citrus sinensis* L.) é uma das principais espécies frutíferas cultivadas no mundo. Segundo dados da “Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação” (FAO, 2010), os cinco maiores países produtores são o Brasil, Estados Unidos, Índia, China e México, com grande destaque aos dois primeiros. Em 2010, o Brasil produziu aproximadamente 18,1 milhões de toneladas de frutos, o que correspondeu a 26% da produção mundial, em área de aproximadamente 775 mil hectares, 19% da área mundial de produção (produtividade média de $23,3 \text{ t ha}^{-1}$). Os EUA foram responsáveis por 10% da produção mundial, atingindo uma produtividade média superior à brasileira ($28,7 \text{ t ha}^{-1}$).

A produção da laranja pode ser dedicada à comercialização do fruto *in natura* ou à produção do suco de laranja, uma *commodity* importante no mercado internacional. Nos estados de São Paulo, BR, e Florida, EUA, os dois principais polos produtores mundiais, a laranja é destinada principalmente à produção de suco. Eles respondem por 81% da produção mundial, sendo 53% oriundo de São Paulo (NEVES et al., 2010). Nesse estado, praticamente toda a produção é destinada para o mercado externo, atingindo cerca de 85% de participação no mercado internacional do produto (NEVES et al., 2010). De acordo com Neves et al. (2001), até 1998 o suco de laranja concentrado era o produto de exportação que mais gerava divisas ao estado, passando a ser o segundo mais importante em 1999, perdendo apenas para a exportação de aviões.

Mesmo tendo imponente, o setor citrícola enfrenta hoje grandes obstáculos. A cadeia de produção de suco de laranja é concentrada em todos os seus segmentos a partir da produção agrícola, nas indústrias de processamento (extração e concentração do suco), envasamento e varejo. As características de monopólio e de integração vertical existentes no

setor fazem com que muitas vezes o poder de mercado afete os preços da cadeia abaixo (BELIK; PAULILLO; VIAN, 2012). Tal fato pode gerar desequilíbrios entre o custo de produção agrícola e o preço da laranja recebido pelo produtor, o que aumenta o risco da produção agrícola. De acordo com Boteon e Neves (2005) os ciclos de preço no setor produtivo paulista são longos. Por se tratar de uma cultura perene, normalmente são necessários de três a cinco anos para se ajustarem a oferta e a demanda do produto.

Atualmente, o excesso de oferta juntamente com alto estoque de suco concentrado, caracteriza um cenário negativo do mercado. Além disso, de acordo Neves et al. (2012), o consumo mundial de suco apresentou queda de 5,3% entre 2003 e 2010. Dentre os principais países consumidores destaque é dado à Alemanha e EUA com decréscimos de 22,8 e 20,0% no consumo de suco de laranja, respectivamente (NEVES et al., 2012).

Outro fator importante que compõem um cenário ruim desde meados dos anos 2000 é a disseminação da doença *huanglongbing* (HLB) comumente conhecida como “greening”. Segundo Bové (2006), em 2004 e 2005 foram encontrados os primeiros sintomas da doença em São Paulo e Florida, respectivamente. A erradicação das plantas infectadas tem reduzido significativamente a área dos pomares, principalmente da Florida (redução de 12,8% de 2005 a 2010 – FAO, 2010). Além de limitar a produtividade (BASSANEZI et al., 2011) a doença também tem aumentado os custos de produção. Morris e Muraro (2008) verificaram aumento no custo de 41% para o controle da doença (custo com pulverizações contra o inseto vetor, erradicação de plantas infectadas e replantio).

Para Boteon e Pagliuca (2010) o risco na produção citrícola tem sido cada vez maior dado à instabilidade econômica e fitossanitária da cultura. Avaliando o setor no estado de São Paulo, as autoras apontaram aumento de 33% no custo de produção (de 1999 até 2009) impactado principalmente pela mão-de-obra, controle do HLB e também valorização da terra e aumento no custo de oportunidade. A área colhida também decaiu 27% no mesmo período, dada à disseminação do HLB e melhor oportunidade de investimento em outras culturas como a cana-de-açúcar. Até a safra de 2019/2020 as autoras preveem uma redução na produção de 43% na Florida e 24% em São Paulo.

Em meio a tal cenário, são propostas algumas medidas para que os produtores atinjam a sustentabilidade. Dentre elas, o aumento na eficiência de produção (maiores produtividades e menores custos) é essencial.

2.2 Agricultura de Precisão

De acordo com definição de Whelan e McBratney (2000) Agricultura de Precisão (AP) é uma forma de manejo que visa “adequar a aplicação de insumos e práticas agronômicas às necessidades do solo e da cultura, de acordo com a sua variação no tempo e no espaço, dentro de um campo de produção”. Essa prática se difundiu nas últimas duas décadas juntamente com a percepção de que as lavouras não são homogêneas e sendo assim, o manejo convencional – em que doses médias de insumos são aplicadas uniformemente na cultura – não é a forma mais eficiente de se conduzir uma produção agrícola. Para Zhang, Wang e Wang (2002), as variações naturais em pequenos campos de produção eram reconhecidas e manejadas manualmente pelos agricultores há séculos. Porém, o advento da mecanização e o aumento da escala de produção agrícola dificultaram o reconhecimento da variabilidade espacial existente dentro dos talhões e dessa forma, somente com grandes avanços tecnológicos tal abordagem poderia ser retomada. De acordo com Molin (2001) o manejo localizado (principal proposta da AP) só avançou após o surgimento do Sistema de Posicionamento Global (GPS), disponibilizado pelo Departamento de Defesa dos EUA e a sua liberação ao uso civil em meados da década de 1990. Com tal tecnologia as informações de diagnóstico poderiam ser facilmente coletadas espacialmente no campo, assim como as ações de manejo aplicadas no local correto.

Segundo Koch e Khosla (2003) as principais práticas ligadas à AP são o mapeamento da produtividade e amostragem georreferenciada de parâmetros de solo e planta como ferramentas de diagnóstico da variabilidade, seguida pelo tratamento localizado ou em “taxas variáveis” (tanto de fertilizantes como de agroquímicos, sementes, água, etc.), como ação de manejo. Outras ferramentas como o sensoriamento direto ou remoto – terrestre, aéreo ou orbital – também são utilizados no levantamento da variabilidade (GODWIN; MILLER, 2003). As ações de manejo podem ser aplicadas por meio de mapas de recomendações (gerados previamente à aplicação) ou em tempo real, a partir de medições de sensores no mesmo momento da aplicação. Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), automação agrícola, geoestatística, dentre outras ferramentas, também estão envolvidas no processo de reconhecimento e manejo da variabilidade espacial.

Os objetivos da AP estão normalmente associados a dois focos principais: (1) otimizar o uso de recursos e com isso aumentar a lucratividade e a sustentabilidade de sistemas agrícolas e (2) reduzir impactos ambientais. Para Adrian, Norwood e Mask (2005) e Isgin et al. (2008), o primeiro foco é a principal razão para adoção da tecnologia. Segundo Colaço et

al. (2012), além dos benefícios econômicos e ambientais, a AP também pode ser mais vantajosa energeticamente – indicadores baseados no fluxo de energia no sistema de produção apontaram maior eficiência energética ao se utilizar técnicas de AP. Essa é uma abordagem interessante principalmente para culturas alimentícias ou energéticas. Outros benefícios também são relatados como ganhos em produtividade e maior confiabilidade nas decisões de manejo (TSCHIEDEL; FERREIRA, 2002).

Segundo Bongiovanni e Lowenberg-DeBoer (2004), a intuição de que aplicar insumos somente onde é necessário seria vantajoso ambientalmente foi comprovada em diversos estudos que avaliaram a taxa variável de aplicação de nitrogênio, fósforo, herbicidas e inseticidas. Por manter a produção intensiva e ao mesmo tempo segura ambientalmente, a AP é considerada por Geebers e Adamchuk (2010) um dos meios para se alcançar a segurança alimentar. A própria redução no uso de insumos pode ser vantajosa tanto ambientalmente como economicamente, caso do estudo de Wang et al. (2003), que avaliaram a taxa variável de nitrogênio e calcário na cultura do milho.

Relatos sobre os benefícios econômicos do manejo localizado são comuns na literatura, sendo a maioria deles relacionados à utilização da taxa variável de aplicação para aumentar a eficiência de uso de fertilizantes (XIANG et al., 2008). Griffin e Lowenberg-DeBoer (2005), em revisões de trabalhos publicados entre 1988 e 2005, encontraram que em 68% dos casos a AP foi mais rentável do que o manejo convencional. Robertson, Lyle e Bowden (2008) obtiveram ganhos de até US\$ 44 ha⁻¹ em simulação do uso do manejo localizado de nutrientes em lavouras de trigo. Yang, Everitt e Bradford (2001) reportaram aumento da produtividade de sorgo e menor utilização de nitrogênio e fósforo em dois anos consecutivos de utilização da taxa variável de adubação. Na cultura da soja e do milho Bongiovanni e Lowenberg-DeBoer (2000) estimaram aumento no retorno anual de até US\$ 19,55 ha⁻¹ utilizando taxa variável na aplicação de calcário. Molin et al. (2010), ao avaliarem a adubação em doses variadas na cultura do café, observaram além do efeito no consumo de insumos (redução de 23% em adubos fosfatados e aumento de 13% para os potássicos), aumento na produtividade de 34% em um primeiro ano de avaliação.

Por outro lado, alguns estudos não confirmam benefícios ao se utilizar técnicas de manejo localizado. É o caso de Johnson e Richard (2009) ao avaliarem a taxa variável na aplicação de calcário na cana-de-açúcar no estado da Louisiana, EUA. Em estudo durante quatro anos em Oklahoma, EUA, Boyer et al. (2010) também não encontraram o maior benefício econômico ao se utilizar taxa variável de nitrogênio dentre diversos manejos testados na cultura do trigo. Bullock, Lowenberg-DeBoer e Swinton (2002) afirmam que

muitos estudos comparativos entre taxa variável e taxa fixa de aplicação falham em provar os benefícios da AP por utilizarem fórmulas de recomendação agronômicas regionais ao invés de curvas de resposta específicas para cada área. Além disso, segundo os autores, dentre os estudos que atestam economicidade da nova técnica, diversos não consideram todos os custos adicionais de amostragem e da própria aplicação em taxa variável. Whelan e Mcbratney (2000) salientam que embora as hipóteses da AP pareçam extremamente vantajosas, o meio científico não deve deixar de testá-las, provando ou não os seus reais benefícios.

2.3 Agricultura de Precisão na citricultura

2.3.1 Aspectos gerais

A agricultura de precisão teve seu início e expansão nas culturas de grãos altamente mecanizadas nos países do hemisfério norte. Embora seus conceitos sejam aplicáveis a qualquer cultura, adaptações e diferentes focos são adotados para a implantação na fruticultura. Os primeiros estudos datam do final da década de 1990 em culturas de alto valor agregado como na viticultura (ARNÓ; ROSELL, 2009; SANTESTEBAN et al., 2012) e também na citricultura (WHITNEY et al., 1999). As culturas da maçã (AGGELOPOULOU et al. 2010) e da oliveira (FOUNTAS et al. 2010) também têm tido destaque no desenvolvimento de técnicas de manejo localizado em culturas perenes.

O estudo de Whitney et al. (1999) pode ser considerado um marco do início da pesquisa sobre AP em citros. Tal manejo passou a ser referido por muitos como “horticultura de precisão” ou mesmo “citricultura de precisão”, que se difere da “agricultura de precisão” principalmente por poder adotar uma única planta como unidade de manejo. Os autores apontaram diretrizes para futuros estudos como: desenvolver um sistema de mapeamento da produtividade na colheita manual dos frutos, mapear posição, altura e volume das plantas e determinar o potencial de uso do GPS e SIG para aplicação de fertilizantes e agroquímicos em doses variadas e para controle e monitoramento de equipamentos no campo. A partir de então uma forte linha de pesquisa se desenvolveu no estado da Florida, EUA, grande polo produtor citrícola americano.

Pode-se considerar que a chance de reduzir impactos ambientais foi uma das principais razões para o desenvolvimento da AP na cultura (LAMB et al., 1999), visto a alta suscetibilidade da região (solos arenosos e pouco profundos) à contaminação dos lençóis freáticos (TUMBO et al., 2007), principalmente pela aplicação excessiva de fertilizantes

nitrogenados no solo (PARAMASINVAM et al., 2002; ALVA et al., 2006a; ALVA et al., 2006b; ZAMAN; SCHUMANN; SHIBUSAWA, 2006; PICAZO-TADEO; REIG-MARTÍNEZ, 2007).

Segundo estudo de Sevier e Lee (2003), embora com modesta adoção até então, as práticas de AP eram utilizadas principalmente por meio da taxa variável de adubação baseada em sensores e no mapeamento da variabilidade do solo. Os mesmos autores verificaram que a intensidade da variabilidade espacial na propriedade era um fator importante na decisão de adoção (SEVIER; LEE, 2004).

2.3.2 Mapeamento da produtividade

Dada a proposta inicial de Whitney et al. (1999) diversas pesquisas se sucederam para o mapeamento da produtividade na cultura (SCHUELLER et al. 1999; WHITNEY et al., 2001; TUMBO et al., 2002b). Embora esforços no desenvolvimento de colhedoras mecânicas tenham se iniciado na década de 1970 (PETERSON, 1998), ainda hoje há predominância da colheita manual, tanto nos EUA quanto no Brasil. Os frutos são colhidos manualmente e colocados em contêineres rígidos com capacidade de aproximadamente 400 kg (Florida, EUA) ou em sacolões (São Paulo, BR) com capacidade de aproximadamente 500 kg. Em seguida uma carregadora faz o levante e descarregamento dos contêineres em um caminhão que retirará o produto colhido do campo.

Schueller et al. (1999), Whitney et al. (2001) e Tumbo et al. (2002b) propuseram um monitor de produtividade para coleta de dados durante a etapa de carregamento dos contêineres de laranja. Cada contêiner tem a sua posição registrada por um receptor GPS e posteriormente o valor de produtividade é calculado de acordo com a densidade de pontos na área. Tal método também foi adaptado para o Brasil (MOLIN; MASCARIN, 2007). As coordenadas dos sacolões são coletadas com um GPS de navegação e atreladas aos seus respectivos volumes, estimados pelo líder da equipe de colheita (erro na estimativa comparada com medição com célula de carga entre 3 e 4%). A área de representação de cada sacolão é calculada posteriormente a partir das distâncias entre eles e a largura da faixa de colheita. Assim são gerados os pontos de produtividade que após interpolação formam o mapa de produtividade. Segundo os autores, o método se mostrou de fácil adaptação ao processo de colheita e também eficiente em revelar a variabilidade espacial. Para Ampatzidis et al. (2009), idealmente o levantamento de mapas de produtividade em colheitas manuais não deve

interferir no procedimento convencional da colheita ou se utilizar de métodos como amostragem de frutos ou de medidas indiretas da produção.

Métodos de mapeamento da produtividade mais inovadores foram apresentados por Kane e Lee (2007) e Okamoto e Lee (2009) que desenvolveram o reconhecimento de frutas cítricas nas copas das árvores a partir de um algoritmo de processamento de imagens. Os autores tiveram como objetivo o reconhecimento de frutos ainda verdes, em baixo estágio de maturação, e atingiram acurácia de até 89% na identificação de frutos. Além do mapa de produtividade, tal tecnologia permite o levantamento da safra antecipadamente à colheita.

Na colheita mecanizada métodos para o mapeamento também tem sido avaliados. Maja e Ehsani (2010) desenvolveram um monitor de produtividade para uma colhedora de laranja agitadora de copa utilizando uma placa de impacto instalada na extremidade do elevador de frutos. Em ensaios de campo obtiveram R^2 de 0,97 entre estimativa do monitor e peso real de frutos e um erro médio de 7,8%. Semelhante aos trabalhos de Kane e Lee (2007) e Okamoto e Lee (2009), Chinchuluun, Lee e Ehsani (2007) desenvolveram um monitor de produtividade que reconhece a quantidade de frutos na extremidade do elevador de frutos de uma colhedora por meio de processamento de imagem. Dentre diferentes algoritmos testados, a soma dos diâmetros dos frutos em relação ao peso real obteve R^2 de 0,96 em ensaios de laboratório. Métodos de contagem de frutos por sensor a laser (contagem pela interrupção de feixe de luz pelo fruto) foram testados por Grift et al. (2006), e embora ainda em estágio de desenvolvimento, apresentaram bom potencial de uso em monitores de produtividade de laranja para colheita mecanizada.

2.3.3 Tratamentos em taxas variáveis

De acordo com Ehsani, Schumann e Salyani (2009), as aplicações em taxas variáveis utilizadas na citricultura da Florida, EUA, têm sido guiadas por mapas de recomendação (baseados na variabilidade espacial do solo), por sensores de volume ou altura de copa (em tempo real), ou por uma combinação entre os dois métodos. Em entrevista com produtores de citros no estado da Florida, EUA, Sevier e Lee (2003) verificaram que a taxa variável guiada por sensores de planta foi a prática de manejo localizado mais frequente entre aqueles que utilizavam AP. Tal tecnologia se popularizou por oferecer uma solução viável de manejar a variabilidade no volume de copa das plantas, a principal, e mais óbvia variabilidade espacial existente nos pomares da Florida. Devido ao constante replantio (substituição de plantas mortas por geadas ou infectadas por doença) e baixa frequência de renovação total dos

pomares, as plantas dentro de um mesmo talhão podem apresentar diferentes idades e consequentemente diferentes tamanhos e potenciais produtivos (ZAMAN; SCHUMANN; MILLER, 2005). Dessa forma, a aplicação uniforme de insumos pode acarretar em desequilíbrio entre a quantidade aplicada e a real demanda por insumo de cada planta. O desenvolvimento de sensores capazes de estimar o volume de copa das plantas possibilitou o manejo localizado ao nível de uma única planta. Nesse caso os algoritmos de recomendação são baseados na relação existente entre o volume das plantas e a produtividade (SCHUMANN et al., 2006). Dada tal relação, segundo Zaman, Schumann e Hostler (2006), a própria informação gerada pelo sensor também pode ser utilizada como forma indireta de mapeamento da produtividade.

Segundo revisão de Dworak, Selbeck e Ehlert (2011), três tipos principais de sensores apresentam bom potencial para mensuração de parâmetros estruturais da planta como altura, diâmetro e volume de copa em culturas hortícolas: os sensores ultrassônicos, a laser – popularizados como LiDAR (*Light Detection and Ranging*), e radar (em plataformas aéreas); sendo os dois primeiros os mais comuns na citricultura (ZAMAN; SALYANI, 2004; SCHUMANN; ZAMAN, 2005; WEI; SALYANI, 2004; WEI; SALYANI, 2005; LEE; EHSANI, 2009). Tumbo et al. (2002a) em avaliações dos dois métodos concluíram que ambos apresentam boa correlação com medições manuais do volume de copa (R^2 de 0,90 e 0,85, respectivamente), sendo as leituras por ultrassom mais afetadas pela densidade de folhas e com menor resolução que mensurações a laser.

Sevier e Lee (2005) reportaram em um estudo de caso, economias de fertilizantes equivalentes a até US\$ 55,00 ha⁻¹ na utilização da taxa variável baseada em sensores. Um investimento em uma máquina para adubação em taxa variável (US\$ 30.000,00 a 40.000,00) poderia ser recuperado no primeiro ano de uso, dependendo do tamanho da área de utilização (EHSANI; SCHUMANN; SALYANI, 2009). Zaman, Schumann e Miller (2005) atingiram 40% de redução no uso de fertilizante nitrogenado utilizando sensor de volume de copa. Além disso, observaram que no tratamento uniforme, plantas de menor porte (volume de copa menor que 100 m³) apresentavam teores excessivos de nitrogênio foliar. Utilizando sensores de copa em pulverizações, Chen, Zhu e Ozkan et al. (2012) e Khot et al. (2012) afirmam que tal tecnologia tem potencial para redução do volume de calda aplicado, reduzindo deriva e contaminação do ambiente e mantendo bom padrão de deposição do produto.

Tendo apenas uma única planta como unidade de manejo, foco da taxa variável guiada por sensores de volume de planta, o bom desempenho do conjunto aplicador (controlador e máquina aplicadora) é crucial para viabilizar a tecnologia. Ao avaliarem a adubação variável

por planta, Schumann et al. (2006) observaram um tempo de resposta do conjunto aplicador de até 3 s para ligar ou desligar a aplicação, e de até 5 s na transição de doses, o que não foi suficiente para a aplicação variada em cada planta. Já Miller et al. (2003) obtiveram tempos de transição de no máximo 0,97 s, o que foi adequado para aplicação em tempo real por sensores de copa.

Em adubação variada guiada por mapas de recomendação, boa correlação ($R^2 = 0,98$) entre as doses prescritas e aplicadas (estimativa registrada no arquivo de aplicação) foi relatada em estudo de Miller et al. (2005). Para Chan et al. (2002) e Chan et al. (2004), além do tempo de resposta, erros de posicionamento de GPS durante a coleta de dados para geração de mapas de recomendação (georreferenciamento do contorno do talhão, dos sacolões ou contêineres de laranja na colheita, etc) também são uma importante fonte de erros nas aplicações em taxa variável em pomares.

2.3.4 Outras aplicações

Embora o mapeamento da produtividade e aplicações em taxa variável sejam as principais atividades relacionadas à AP em citros, outras práticas também têm recebido grande atenção dos pesquisadores. Destaque é dado à utilização do sensoriamento remoto na detecção de doenças para o rápido diagnóstico e ação de manejo localizada. De acordo com Sankaran et al. (2010), tais técnicas se utilizam de sensores de refletância no reconhecimento de propriedades espectrais específicas de uma planta infectada, possibilitando a sua distinção das plantas saudáveis. Bom potencial foi apresentado na detecção de doenças importantes para os citros.

O *huanglongbing* (HLB), ou “greening”, é atualmente a doença mais impactante para a cultura. O seu controle depende da eliminação das plantas infectadas e do inseto vetor da doença (*Diaphorina citri*, Kuwayama). O diagnóstico é feito pelo reconhecimento visual dos sintomas por uma equipe de inspeção. Diversos pesquisadores têm trabalhado no desenvolvimento de sensores capazes de reconhecer a doença automaticamente em estágios anteriores ao aparecimento dos sintomas e apresentaram resultados promissores (MISHRA et al., 2007; MISHRA et al., 2011; SANKARAN; EHSANI; ETXEBERRIA, 2010; SANKARAN et al., 2011; SANKARAN E EHSANI, 2011). Além de evitar erros do diagnóstico visual, a tecnologia possibilita aumento no rendimento da inspeção e na eficiência do controle por possibilitar rápida ação de manejo.

Recentemente, outra área que também tem recebido considerável atenção da comunidade acadêmica é o uso de pequenos veículos aéreos, não tripulados e controlados remotamente (VANT – veículo aéreo não tripulado) para embarcar sensores para a coleta de dados georreferenciados em áreas agrícolas (ZHANG; KOVACS, 2012). Em pomares citrícolas, informações referentes à estrutura das árvores como diâmetro, altura e volume de copa, a posição das árvores e também suas propriedades espectrais podem ser acessadas. Alguns dos potenciais usos dessa tecnologia na citricultura são: inspeção do pomar por plantas infectadas por doenças; estimativas de produtividade a partir de parâmetros estruturais de copa e inventário do pomar (contagem e localização das plantas) (EHSANI et al., 2012).

Até então esse tipo de informação poderia ser obtido a partir de imagens aéreas ou orbitais, porém com uma série de limitações (alto custo, baixa resolução espacial, temporal, entre outras). Para Ehsani et al. (2012) o uso dos VANT deve revolucionar a forma de coleta de dados para a citricultura de precisão, pois possibilita levantar informações georreferenciadas com alta resolução espacial, de forma rápida e eficiente, no momento em que as informações são necessárias, substituindo assim o sensoriamento aéreo ou por satélites.

2.4 Citricultura de precisão no Brasil

Não existem na literatura relatos referentes à adoção da AP na citricultura brasileira, porém pode-se afirmar que poucos produtores praticam ou mesmo conhecem o manejo localizado. Na pesquisa, diversos trabalhos abordaram a aplicação dessa tecnologia para a produção nacional. Inicialmente eles focaram a avaliação da variabilidade espacial nos pomares a fim de justificar a necessidade do manejo localizado. Alta variabilidade espacial foi observada na produtividade de pomares no estado de São Paulo, com área de aproximadamente 15 e 20 ha por Farias et al. (2003) (produtividade entre 61 e 306 kg planta⁻¹). Em área de 13 ha na Amazônia oriental, Oliveira et al. (2009) verificaram variação na produtividade entre 11 e 80 kg planta⁻¹. Nos dois trabalhos os autores também observaram variabilidade no tamanho dos frutos. Parise e Vettorazzi (2005) conseguiram distinguir dez classes de comportamento produtivo em um pomar de aproximadamente 5 ha em Araras, SP. Leão et al. (2010) e Siqueira, Marques Jr. e Pereira (2010) observaram na mesma área de estudo, no município de Gavião Peixoto, SP, a variabilidade de parâmetros do solo e dos frutos em função do relevo em um pomar de aproximadamente 90 ha. Com exceção do trabalho de Parise e Vettorazzi (2005), todos os demais se utilizaram de amostragem e

técnicas de geoestatística para estudarem a variabilidade espacial dos atributos de solo e planta.

A variabilidade espacial de pragas e doenças também foi constatada por Maruyama, Barbosa e Toscano (2006), Costa et al. (2010) e Leal et al. (2010). Molin, Colaço e Carlos (2011) verificaram que a distribuição espacial da ocorrência de doenças (HLB e declínio) foram os principais responsáveis pela alta variabilidade encontrada na produtividade de um pomar de 25 ha em Brotas, SP.

Estudos da variabilidade espacial (por meio de metodologias geoestatísticas) também foram conduzidos em outras culturas perenes como na maçã (BIFFI; RAFAELI NETO, 2008), pera (KONOPATZKI et al., 2012), manga (CALDERÓN; MARTÍNEZ; HENAO, 2008) (estudo realizado na Colômbia) e café (SILVA et al., 2008). Todos os trabalhos mencionam a AP como forma de manejar a variabilidade espacial encontrada na produtividade e em parâmetros do solo.

Até então, apesar de apontarem a AP como alternativa de manejo dada a variabilidade espacial existente nos pomares, nenhum dos trabalhos mencionados efetivamente testou alguma ferramenta de manejo localizado na cultura da laranja no Brasil. Na cultura do café, Faulin (2010) comprovou os benefícios da adubação em doses variadas ao verificar economias de fertilizantes nitrogenados e potássicos e ao mesmo tempo ganho de produtividade em comparação à prática convencional de aplicação.

Lopes (2010) conduziu o primeiro trabalho nesse sentido para a cultura da laranja. Foram comparadas a aplicação de fertilizantes e corretivos em doses variadas e a prática convencional de adubação em dois pomares de laranja de 25 ha cada, durante duas safras de produção. Foi também o primeiro trabalho que avaliou os efeitos da taxa variável não só no consumo de insumos, mas também na produtividade, nutrição foliar e na fertilidade do solo. Mesmo na literatura internacional trabalhos referentes à taxa variável em citros abordaram principalmente as formas de recomendação e desempenho dos sistemas aplicadores, e não o seu efeito em parâmetros agronômicos da cultura.

O autor se baseou no método de mapeamento da produtividade descrito por Molin e Mascarin (2007) e também na metodologia de Molin et al. (2010) para comparação entre dose fixa e variável de adubação em faixas intercaladas da cultura. Em dois anos de aplicação, obteve significativas reduções no uso dos insumos (de até 78%) e manutenção da produtividade depois do primeiro ano de aplicação.

Embora tenha obtido resultados positivos em relação ao uso da adubação em taxa variável, nota-se a necessidade de se aprofundar tal investigação visto o estudo ter sido

conduzido por apenas dois anos, não revelando assim o comportamento da produtividade em um período mais longo. Tendo como principal resultado a redução no uso de insumo, não se sabe as suas consequências futuras nas condições do pomar. Por se tratar de uma cultura perene, a resposta a uma mudança na prática de adubação pode vir no longo prazo, necessitando assim longos períodos de estudo (QUAGGIO et al., 2002).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Áreas experimentais

O estudo foi realizado em duas áreas experimentais já utilizadas no trabalho de Lopes (2010) e foram acompanhadas desde 2008. Os pomares se localizam em uma fazenda comercial, no município de Botucatu, SP e apresentam 25,7 ha cada um. O talhão 1 (22° 57' 03,5''S; 48° 39' 37,4''O) foi implantado em 2003 com a variedade de copa Rubi (maturação precoce) e de porta-enxerto Swingle, em área com Latossolo Vermelho escuro argiloso (32% de argila). Apresenta espaçamento entre fileiras de 6,8 m e de 4 m entre plantas. O talhão 2 (22° 56' 54,2''S; 48° 38' 49,3''O) foi implantado em 2004, com as mesmas variedades de copa e porta enxerto que o talhão 1, em área de Neossolo Quartzarênico distrófico (14% de argila). O espaçamento entre fileiras é de 7,5 m e entre plantas de 3,5 m. As áreas não são irrigadas.

3.2 Delineamento experimental

Os tratamentos utilizados, denominados “dose variável” (DV) e “dose fixa” (DF) se diferem quanto à utilização da taxa variável para a aplicação de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K) e calcário. Tais tratamentos foram intercalados a cada par de fileiras de plantas, ou seja, um par de fileiras com DV seguido por outro com DF, conforme mostra a Figura 1. Eles foram implantados em 2008 e foram conduzidos até 2012 (dados de 2008 e 2009 de Lopes, 2010), totalizando quatro adubações e cinco safras.

As adubações nas fileiras DV foram realizadas com base em mapas de recomendação gerados a partir de mapas de fertilidade do solo, nutrição foliar e de produtividade. Já nas fileiras DF, as adubações foram realizadas seguindo os princípios de manejo já utilizados na fazenda, segundo uma amostragem única para cada talhão e a estimativa de produção da área.

A aplicação em faixas intercaladas segue proposta de Molin et al. (2010) que avaliaram a adubação em doses variadas na cultura do café. Tal modelo experimental é apropriado para a comparação dos dois tratamentos, pois aumenta a chance de que ambos estejam sujeitos à mesma variabilidade espacial do campo, algo que certamente não ocorreria em delineamentos experimentais clássicos. Além disso, o método permite que os dados coletados em cada tratamento sejam interpolados separadamente, gerando mapas temáticos para os dois tratamentos na mesma área, possibilitando a comparação entre eles.

Figura 1 - Croqui experimental; tratamentos implantados em pares de fileiras intercaladas (linhas em negrito dentro de cada área representam as fileiras do tratamento em dose variável)

3.3 Amostragem de solo e folhas

Os mapas de fertilidade química do solo e nutrição foliar foram realizados durante cinco anos (de 2008 a 2012) e foram utilizados tanto para fins de recomendação em doses variáveis de fertilizantes e corretivos, como para avaliar a eficiência da adubação anterior em manter níveis adequados dos elementos no solo e folhas. No tratamento fixo, amostragens em grade também foram realizadas, porém não para gerar recomendações, mas sim apenas para levantamento dos mapas de fertilidade e nutrição foliar e comparação com o tratamento variável.

As amostragens georreferenciadas foram realizadas entre os meses de março e abril, utilizando uma grade amostral de aproximadamente duas amostras por hectare (50 pontos em cada área) (Figura 2).

Figura 2 - Grade amostral utilizada para amostragem de solo e folhas nas duas áreas experimentais

Em cada ponto da grade amostral foram retiradas duas amostras de solo compostas por seis subamostras cada (0,2 m de profundidade), uma no tratamento DV e outra no tratamento DF (Figura 3). Da mesma forma foram realizadas as amostragens de folhas, de acordo com metodologia de Raij et al. (1997), seguindo a mesma grade amostral. O caminhamento para cada ponto foi auxiliado por um receptor GPS. As amostras de solo e folha foram então encaminhadas a um laboratório independente para análise de macronutrientes. No ano de 2009 foi incluída a análise física para o mapeamento do teor de argila nas duas áreas.

Figura 3 - Croqui do local de coleta das subamostras nos dois tratamentos em cada ponto da grade amostral

Para formar os mapas de fertilidade química do solo e nutrição foliar, os resultados obtidos do laboratório foram atrelados às coordenadas geográficas dos pontos da grade amostral. Os dados passaram por análise geoestatística e depois interpolados em uma grade regular de 10 x 10 m pelo método da krigagem ou inverso da distância (caso não fosse encontrado dependência espacial).

Cada quadrícula foi então classificada baseada nas classes de interpretação sugeridas por Raij et al. (1997) (Tabelas 1 e 2). O percentual da área classificada em cada faixa de interpretação foi calculado para comparação dos dois tratamentos.

Tabela 1 - Classes de interpretação dos teores de P, K e V% do solo

Classes de teores	P (mg dm ⁻³)	K (mmol _c md ⁻³)	V (%)
Muito baixo	< 6	< 0,8	< 26
Baixo	6 – 12	0,8 – 1,5	26 – 50
Médio	12 – 30	1,5 – 3,0	50 – 70
Alto	> 30	> 3,0	> 70

Fonte: Adaptada de Raij et al. (1997)

Tabela 2 - Classes de interpretação dos teores de N, P e K foliar

Classes de teores	N	P	K
	-----g kg ⁻¹ -----		
Baixo	< 23	< 1,2	< 10
Adequado	23 – 27	1,2 – 1,6	10 – 15
Alto	27 – 30	1,6 – 2	15 – 20
Excessivo	> 30	> 2	> 20

Fonte: Adaptada de Raij et al. (1997)

3.4 Colheita e mapeamento da produtividade

O mapeamento da produtividade foi realizado nas cinco safras (de 2008 a 2012), para fins de recomendação de fertilizantes em doses variadas e também para verificar o efeito dos dois tratamentos na produtividade. O mapeamento foi baseado no método proposto por Molin e Mascarin (2007). No procedimento de colheita, os frutos foram retirados manualmente e colocados em sacolões, dispostos entre as fileiras de cada tratamento. Antes do descarregamento dos sacolões, os mesmos foram georreferenciados utilizando um receptor de GPS, e os seus volumes foram estimados pelo líder da equipe de colheita, que também utiliza o dado para controle do pagamento dos colhedores. Para determinar a produtividade também foi registrado o número de plantas necessárias para o enchimento de cada sacolão, que

multiplicado pelo espaçamento entre plantas e fileiras, representa a área necessária para o enchimento de cada sacolão. O volume dos sacolões, dados em caixas de 27,2 kg e a sua área de representação foram convertidos para $t\ ha^{-1}$, que atrelados às respectivas coordenadas geográficas formaram os pontos de produtividade do mapa. Os pontos foram então interpolados em uma grade regular de 10 x 10 m após análise geoestatística, gerando assim valores de produtividade em toda a superfície.

A colheita principal ocorreu sempre no mês de julho de cada ano. Entre os meses de dezembro e janeiro foram realizadas as colheitas das frutas temporãs. Os mapas foram interpolados separadamente e depois somados para formar o mapa de produtividade final.

Para fins de recomendação de adubação um fator de incremento (ou decremento) da produtividade para a safra seguinte, correspondente à expectativa de produção estimada pelo corpo técnico da fazenda, foi somado ao mapa de produtividade, formando o mapa de produtividade esperada, uma das variáveis utilizada nas equações de recomendação de adubo.

3.5 Mapeamento da variabilidade espacial de fatores permanentes

A fim de caracterizar melhor as áreas e contribuir na interpretação dos resultados e na compressão das relações de causa e efeito, foram mapeados três parâmetros referentes à variabilidade espacial intrínseca das áreas: o teor de argila (ver detalhes no item 3.3, Amostragem de solo e folhas), a altitude, e a condutividade elétrica do solo (parâmetro associado principalmente ao conteúdo de água e teor de argila do solo).

Os pontos de produtividade foram aproveitados para gerar o mapa de elevação das áreas, a partir dos dados de altitude registrados pelo receptor de GPS em cada sacolão georreferenciado. Os dados foram gerados durante a colheita da safra de 2012, quando foi utilizado no georreferenciamento o receptor Garmin 62S (Garmin, Olathe, EUA). A fim de reduzir o erro no mapa final e suavizar a superfície do mapa, as médias de altitude dos sacolões ao redor dos pontos da grade amostral (dentro de um raio de 50 m) foram atreladas às coordenadas dos pontos da grade, e então interpoladas para gerar o mapa final de altitude.

Para o mapeamento da condutividade elétrica do solo foi utilizado o instrumento de medição Veris 3000 (Veris Technology, Salina, EUA) tracionado por um trator ao longo de todas as entre fileiras de plantas dos pomares. O sensor apresenta seis eletrodos formados por discos de corte inseridos no solo, sendo dois emissores de corrente e quatro receptores (Figura 4). O equipamento fornece dados de condutividade na camada de 0 a 0,3 m e 0 a 0,9 m de profundidade do solo.

Figura 4 - Sensor Veris 3000 utilizado para o mapeamento da condutividade elétrica do solo nos pomares (a). Esquema do campo elétrico gerado pelos eletrodos no solo (b); Fonte: Veris Technologies < www.veristech.com >

3.6 Recomendações e adubações em doses variadas

As recomendações de fertilizantes para o tratamento DV foram calculadas a partir dos mapas de fertilidade do solo, nutrição foliar (para a recomendação do fertilizante nitrogenado) e dos mapas de produtividade esperada. Todos os mapas foram gerados sobre a mesma grade regular com quadrículas de 10 x 10 m (*pixel*) e organizados em um sistema de informação geográfica (SIG), no software Sstoolbox 3.4 (SST Software, Stillwater, EUA). Dessa forma, foi possível a realização de operações matemáticas entre os mapas gerando assim um valor de recomendação para cada quadrícula.

A necessidade de calcário foi calculada segundo a Equação 1 para a elevação da saturação de bases (V%) para 70%, valor recomendado para a cultura (RAIJ et al., 1997).

$$NC_i = \frac{(V2 - V1_i) \times CTC_i}{PRNT \times 10} \quad (1)$$

em que:

NC_i = necessidade de calcário na quadrícula i , em $t\ ha^{-1}$;

$V1_i$ = saturação de bases atual do solo na quadrícula i , em %;

$V2$ = saturação de bases almejada (70%);

CTC_i = capacidade de troca de cátions a pH 7,0, na quadrícula i , em $mmol_c\ dm^{-3}$;

PRNT = poder relativo de neutralização total do calcário.

Tabela 3 - Recomendação de adubação em função de análises de solo e folhas e das classes de produção

Classes de produção (t ha ⁻¹)	N foliar (g kg ⁻¹)			P-resina (mg dm ⁻³)				K-trocável (mmol _c dm ⁻³)			
	<23	23-27	>27	<5	6-12	13-30	>30	<0,7	0,8-1,5	1,6-3	>3
	----- N – P ₂ O ₅ – K ₂ O (kg ha ⁻¹) -----										
< 20	120	80	70	80	60	40	0	80	60	40	0
21 – 30	140	120	90	100	80	60	0	120	100	60	0
31 – 40	200	160	130	120	100	80	0	140	120	80	40
41 – 50	220	200	160	140	120	100	0	180	140	100	50
>50	240	220	180	160	140	120	0	200	160	120	60

Fonte: Raij et al. (1997).

As recomendações de N, P e K foram calculadas baseadas em Raij et al. (1997) (Tabela 3), que fornecem os valores de recomendação de cada elemento segundo a produtividade esperada e os níveis dos elementos no solo ou folha. Os valores de recomendação de cada produto foram interpolados por meio de uma regressão linear multivariada (Figura 5), realizada no software R 2.12.0 (Free Software Foundation, Boston, EUA). Dessa forma, ao invés de utilizar valores de recomendação por classes, foram criadas recomendações contínuas, oriundas de uma equação de recomendação, função de duas variáveis (produtividade esperada e nível do elemento no solo ou folha) (Equações 2, 3 e 4).

Figura 5 - Valores de recomendação de P_2O_5 em função do nível do elemento no solo e produtividade esperada

$$Rec_N_i = 3,3923 \times Prod_esp_i - 2,1481 \times N_foliar_i + 86,9155 \quad (2)$$

$$R^2 = 0,97$$

$$Rec_P_i = 2,09945 \times Prod_esp_i - 2,03753 \times P_solo_i + 46,83276 \quad (3)$$

$$R^2 = 0,98$$

$$Rec_K_i = 2,8591 \times Prod_esp_i - 49,2072 \times K_solo_i + 91,7240 \quad (4)$$

$$R^2 = 0,95$$

em que:

Rec_N_i = recomendação de N na quadrícula i , em $kg\ ha^{-1}$

Rec_P_i = recomendação de P_2O_5 na quadrícula i , em $kg\ ha^{-1}$

Rec_K_i = recomendação de K_2O na quadrícula i , em $kg\ ha^{-1}$

$Prod_esp_i$ = produtividade esperada na quadrícula i , em $t\ ha^{-1}$

N_foliar_i = nível de N foliar na quadrícula i , em $g\ kg^{-1}$

P_solo_i = nível de P no solo na quadrícula i , em $mg\ dm^{-3}$

K_solo_i = nível de K no solo na quadrícula i , em $mmol_c\ dm^{-3}$

As adubações em doses variadas foram realizadas por uma máquina adubadora protótipo, de arrasto, com mecanismo dosador volumétrico e mecanismo distribuidor pneumático (Máquinas Agrícolas Jacto, Pompéia, BR), equipada com um monitor para leitura do mapa de recomendação, um receptor GPS e um controlador hidráulico de vazão, que propicia a aplicação em doses variadas alterando a velocidade da esteira transportadora e altura da comporta dosadora (Figura 6).

Para a calagem foi utilizada uma adubadora de arrasto (DCA DC5500, Tatu Marchesan, Matão, BR), com mecanismo distribuidor centrífugo, e dosador volumétrico, porém sem controlador hidráulico de vazão. Nesse caso, as aplicações foram realizadas em três doses que foram ajustadas manualmente, de acordo com a localização da máquina no campo, verificada por um GPS de navegação.

As aplicações de calcário ocorreram após o período de colheita, entre os meses de agosto e setembro. Já as adubações ocorreram após a calagem, a partir do mês de outubro. As aplicações de N e K foram divididas em três parcelas (outubro, novembro/dezembro e dezembro/janeiro), na proporção de 40, 30 e 30% da dose total, respectivamente. Já as aplicações de P foram sempre realizadas em uma única operação em outubro. Como fonte de

N, P e K foram utilizadas o nitrato de amônio, o superfosfato simples e o cloreto de potássio, respectivamente.

Figura 6 - Máquina adubadora protótipo utilizada para aplicações em doses variadas: a) controlador hidráulico da velocidade da esteira e de altura da comporta dosadora; b) dosador do tipo volumétrico; c) terminal do controlador na cabine do trator; d) aplicação direcionada sob a copa das plantas

3.7 Recomendações e adubações em dose fixa

As recomendações de adubação no tratamento DF foram realizadas pelo corpo técnico da fazenda, a partir de amostragem de solo, folhas e estimativa da produtividade. Em cada talhão foi colhida uma amostra de solo e uma de folhas, a partir de 25 subamostras coletadas aleatoriamente nas faixas DF ao longo de todo o talhão. O resultado das análises e a estimativa de produtividade para a safra seguinte foram utilizados para obter um valor de recomendação a partir da Tabela 3. As adubações também foram divididas em três parcelas, utilizando fertilizantes formulados como fonte de N, P e K e uma máquina adubadora de arrasto com mecanismo dosador volumétrico e distribuidor centrífugo (DCA DC5500, Tatu Marchesan, Matão, BR).

3.8 Análise da qualidade dos frutos e do suco

Para verificar o efeito da variabilidade espacial e dos tratamentos aplicados na qualidade dos frutos e do suco produzido, amostras foram coletadas antes da colheita, nas safras de 2011 e 2012. Em cada talhão, os frutos foram amostrados em três regiões distintas em relação ao nível de K no solo; juntamente com o N, é o elemento que mais influencia nos parâmetros de qualidade do fruto e suco (Tabela 4). Utilizando a amostragem de solo realizada no ano anterior (2010 e 2011) foram selecionados três regiões dentro de cada área com alto gradiente no teor de K no solo. Foram selecionados três pontos com alto nível de K, três com nível médio e três com baixo teor de K no solo. Em cada ponto foi coletada uma amostra de fruto no tratamento DV e outra no DF. Cada amostra foi composta por 60 frutos retirados de seis plantas (dez frutos por planta coletados ao redor de toda a planta e dos terços superior, médio e inferior da copa).

As amostras foram analisadas em laboratório em relação à acidez, sólidos solúveis, relação entre sólidos solúveis e acidez (*ratio*) peso do fruto e rendimento de suco. Foram realizadas a estatística descritiva e a análise de variância para verificar o efeito do nível de K no solo e dos tratamentos em cada parâmetro da qualidade.

Tabela 4 - Efeitos dos nutrientes na qualidade do fruto e do suco

Características	Nutrientes				
	N	P	K	Mg	Ca
Qualidade interna do suco					
Teor de suco	+	0	-	0	0
Teor de sólidos solúveis (SS)	+	0	-	+	+
Acidez (A)	+	-	+	0	-
Razão SS/A (<i>ratio</i>)	-	+	-	+	+
Cor do suco	+	0	-	+	0
SS/caixa	+	0	-	+	+
SS/ha	+	+	+	+	+
Qualidade externa do fruto					
Massa (ou tamanho)	-	0	+	+	-
Cor verde da casca	+	+	+	+	+
Espessura da casca	-	+	+	-	-

(+) aumenta, (-) diminui, (0) não afeta.

Fonte: Mattos Jr. et al. (2005).

3.9 Análise dos dados e geoestatística

Os resultados das análises químicas do solo e folhas, assim como os valores de produtividade obtidos em cada tratamento ao longo dos anos, foram submetidos à análise estatística descritiva, geoestatística, ao teste de Shapiro Wilk para verificar normalidade na distribuição dos dados e teste t (para dados com distribuição normal) ou Mann Whitney (para dados com distribuição livre) para comparação entre as médias dos tratamentos. Os testes de normalidade e comparações entre médias foram realizados por meio do software R 2.12.0 (Free Software Foundation, Boston, EUA).

A geoestatística foi utilizada para verificar a qualidade da grade amostral utilizada e também na interpolação (estimar valores em locais não amostrados) para gerar os mapas temáticos de solo, nutrição foliar e produtividade, utilizados nas recomendações em taxa variável. Para tanto foram analisados os semivariogramas dos resultados de N, P, K, V% e de produtividade para cada ano, área e tratamento.

O semivariograma é um gráfico de dispersão de pontos (Figura 7) que expressam a variância do parâmetro em função da distância entre as amostras. A esses pontos é ajustado um modelo matemático que representa a estrutura da dependência espacial entre as amostras. Foram testados os modelos esférico, exponencial, gaussiano e linear com patamar. O modelo escolhido em cada semivariograma foi aquele que apresentou o menor valor de AIC (Critério de Informação de Akaike), que se baseia no ajuste pela Máxima Verossimilhança (AKAIKE, 1981). Embora o uso do AIC seja adequado para a escolha do tipo do modelo a ser adotado, não permite a comparação da qualidade dos ajustes entre os diversos semivariogramas, uma vez que a magnitude do seu valor adimensional varia de acordo com a variável avaliada. Dessa forma, também foi calculado o coeficiente de determinação (R^2) para cada modelo. O R^2 representa a fração da variação total dos pontos que é explicada pelo modelo, expressando assim a qualidade da estimativa (NAGELKERKE, 1991). Dessa forma, foi possível a comparação dos ajustes entre os semivariogramas.

De cada modelo ajustado foram obtidos três parâmetros: o efeito pepita (C_0) – que representa a variância estimada na distância zero entre amostras, interpretada como um tipo de erro amostral; o patamar (C_1+C_0) – valor da variância quando o modelo atinge constância de variância; e o alcance (A) – distância entre amostras, a partir da qual há constância na variância (patamar), ou seja, a distância não mais afeta a variância entre as amostras (Figura 7). O valor de alcance também indica a máxima distância a ser utilizada na grade amostral

para permitir adequada estimativa dos valores em locais não amostrados (interpolação pelo método da krigagem).

Figura 7 - Exemplo de um semivariograma com a dispersão de pontos, o modelo matemático ajustado aos pontos e os parâmetros C_0 , C_1 e A

De acordo com Oliver (2010), existe dependência espacial sempre que há aumento da variância com aumento na distância entre as observações, expressado nos tipos de semivariogramas (a) e (b) da Figura 8. Por outro lado, o fenômeno do “efeito pepita puro” é observado quando a variância é constante independentemente da distância entre as amostras, situação essa em que não há dependência espacial (Figura 8, c).

Para os semivariogramas que apresentaram a estrutura de dependência espacial com patamar definido (Figura 8, b) foi calculado o grau de dependência espacial da variável dado pela Equação 5:

$$GD = \frac{C_0}{C_1 + C_0} \times 100 \quad (5)$$

em que:

C_0 = efeito pepita;

$C_1 + C_0$ = patamar.

Figura 8 - Tipos de semivariogramas: (a) hipótese intrínseca (semivariograma sem patamar); (b) estacionaridade de segunda ordem (semivariograma com patamar); (c) efeito pepita puro
 Fonte: Adaptado de Oliver (2010)

Foi utilizada a classificação de Cambardella et al. (1994), em que é considerado de forte dependência espacial o semivariograma com GD menor que 25%, moderado quando o GD estiver entre 25 e 75% e fraco quando acima de 75%.

Toda a análise geoestatística foi realizada por meio do software Vesper 1.6 (University of Sidney, Sidney, AU). Para interpolação e geração dos mapas temáticos foi utilizado o software Sstoolbox 3.4 (SST Software, Stillwater, EUA) pelo método inverso da distância (quando a dependência espacial foi fraca) ou krigagem.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Variabilidade espacial de fatores permanentes

O levantamento dos mapas de altitude, teor de argila e condutividade elétrica do solo promoveram o entendimento da variabilidade espacial dos fatores não antrópicos e intrínsecos às duas áreas. As revisões de Corwin e Davis (2005) e de Friedman (2005) sobre as aplicações da condutividade elétrica do solo na AP e os fatores que influenciam nessa característica do solo, deram base para a interpretação desses resultados, ao demonstrarem a relação existente entre esse parâmetro e o conteúdo de água e outros fatores físicos do solo.

Primeiramente, nota-se que a variabilidade dos parâmetros mapeados foi maior na área 1, dada a maior amplitude dos valores (Figuras 9, 10 e 11). Pode-se observar que o teor de argila apresenta um grande gradiente na área 1, aumentando no sentido em que a altitude diminui. O valor de condutividade elétrica nessas áreas também é maior.

A área 2 é mais plana que a primeira, mais arenosa e com menor variação no teor de argila do solo. O mapa de condutividade elétrica expressa uma região de baixa drenagem do solo (região em verde escuro no mapa) com maior condutividade devido provavelmente ao maior conteúdo de água. Esse também é o local de menor altitude na área e mais arenoso.

Figura 9 - Mapas da altitude das áreas experimentais

Figura 10 - Mapas do teor de argila nas áreas experimentais

Figura 11 - Mapas da condutividade elétrica do solo na camada de 0 a 30 cm de profundidade

Além de auxiliar nas interpretações dos resultados, tais informações servirão futuramente para a definição de unidades de gerenciamento diferenciado em cada área. As unidades de gerenciamento são regiões dentro dos talhões, delineadas permanentemente, com mínima variabilidade e que demandam um manejo específico condizente com suas características de solo e planta (KHOSLA et al., 2008; KING et al., 2005). Alguns trabalhos têm avaliado formas de identificação dessas regiões em pomares cítricos (SCHUMANN; ZAMAN, 2006; MANN; SCHUMANN; OBREZA, 2010). Eles apontam que essa estratégia pode otimizar a amostragem pois elimina a utilização da grade amostral e direciona as amostragens para cada zona. Naturalmente, por se tratar de delimitações permanentes, são necessários vários anos de coleta de dados para uma determinação precisa dessas regiões.

4.2 Adubações em doses variadas e uso de insumos

Nas Figuras 12 e 13 é observada a variação de doses nos mapas de recomendação aplicados de 2008 a 2011 no tratamento DV. Os mapas da necessidade de calcário (Figura 14) foram gerados no formato vetorial e apresentaram apenas três doses. Nota-se que em 2008 não houve recomendação de nitrogênio em taxa variável, visto que não foi realizada a amostragem foliar nesse ano. Nesse caso a adubação nitrogenada foi realizada em dose fixa para todo o talhão. Os mapas revelam as variações de doses demandadas em cada região dos talhões e manchas onde não houve necessidade de aplicação, observadas principalmente nas recomendações de calcário, e de K_2O em 2008 na área 1 e P_2O_5 em 2011 na área 2 (Figura 12, 13 e 14). Isso se deve à alta disponibilidade dos elementos no solo ou alta saturação de bases (V%) nessas regiões (Figura 16 e 18). Normalmente tais manchas não são percebidas pela amostragem convencional de solo e, caso sejam muito grandes, podem acarretar na decisão de não aplicar o insumo em toda a área. Isso ocorreu na calagem em dose fixa na área 2, que não foi realizada em 2011 (Figura 15). Esse é um exemplo claro de que a metodologia de mapeamento da fertilidade do solo pode minimizar o erro nas decisões de manejo.

As doses de fertilizantes nos mapas de recomendação apresentaram coeficientes de variação (CV) entre 8,24% (N em 2011 na área 1) até 114,37% (P_2O_5 em 2011 na área 2) (Tabela 5). Normalmente as recomendações com maior variação de doses foram as de K_2O . As menores variações foram obtidas para as recomendações de N, o que ocorre devido à baixa variabilidade espacial dos níveis de nitrogênio foliar, que são base para a geração dos mapas de recomendação (ver CV nas Tabelas 12 e 13). Ao longo dos anos também houve um aumento generalizado das doses recomendadas (Tabela 5), principalmente de K_2O , o que é esperado devido ao aumento do porte das plantas e da capacidade produtiva.

Ao se observar as quantidades totais aplicadas em cada tratamento, expostas na Figura 15, e as diferenças em cada tratamento na Tabela 6, nota-se de maneira geral, reduções no uso de insumos ao se adotar a taxa variável de aplicação. Do total de 30 recomendações realizadas (de calcário, N, P e K) em 22 delas houve economia de insumo. A redução mais significativa ocorreu na aplicação de N na área 2 em 2009 (78% a menos na aplicação variável). Na calagem houve economia em todas as aplicações na área 1 (até 54% a menos). Na área 2, a partir de 2009 maior uso de calcário foi observado no tratamento variável, especialmente em 2011, quando não houve aplicação no tratamento DF.

O uso de N foi menor no tratamento com dose variável em todos os anos nas duas áreas, principalmente nas duas primeiras aplicações (2009 e 2010) (Figura 15). No total de

quatro aplicações foram utilizados 37% e 51% a menos nas áreas 1 e 2, respectivamente (Tabela 6). Para o K, também houve reduções no uso do insumo, com exceção da aplicação de 2010 na área 2 (Figura 15). Nos dois primeiros anos também foram observadas as maiores reduções. No total de quatro aplicações foram utilizados 41% e 18% a menos nas área 1 e 2, respectivamente (Tabela 6).

A recomendação de P_2O_5 foi a única que não apresentou um padrão de economia, sendo que em 4 de 8 aplicações houve maior uso do insumo no tratamento DV (Figura 15). As diferenças nas quantidades totais aplicadas desse insumo entre os dois tratamentos (DV em relação ao DF) variaram de 67% a menos (área 2 em 2008) até 65% a mais (área 1 em 2009) (Figura 15).

De maneira geral, os resultados obtidos para o consumo de insumo foram consistentes àqueles encontrados na literatura. Comparando aplicações em doses variadas com dose fixa na cultura do café, Faulin (2010) também obteve economias para os adubos nitrogenados e potássicos e maior consumo de P_2O_5 . Na cultura da maçã, Aggelopoulou et al. (2010) obtiveram redução de 38% no consumo de N utilizando aplicações variáveis baseadas em mapas de produtividade. Reduções de 38 a 40% para esse insumo também foram observadas por Zaman, Schumann e Miller (2005) na cultura da laranja. Nesse caso as doses variaram para cada árvore, baseado nas leituras de um sensor de volume de copa das plantas.

As diferenças no uso de fertilizantes e calcário entre os dois tratamentos podem ser geradas por alguns fatores. Primeiramente, as duas formas de adubação implantadas a partir de 2008 afetaram singularmente a fertilidade do solo a cada ano (ver diferenças entre os mapas da fertilidade do solo em cada tratamento, Figuras 16 e 18), sendo natural que cada tratamento demandasse quantidades diferentes de insumo para a fertilização ao longo dos anos. Outro fator primordial foi a diferença entre as metodologias de amostragem de solo e folhas adotadas para as aplicações variáveis e fixa. A amostragem realizada pela fazenda, utilizada para a geração das recomendações em dose fixa, se baseia em uma única amostra em cada área para representar a fertilidade do solo e nutrição foliar das plantas. Mesmo sendo composta por 25 subamostras, essas são coletadas aleatoriamente dentro do campo e podem não representar adequadamente o mesmo (ver diferenças entre os valores médios de P, K e V% obtidos a partir da amostragem em grade e amostragem convencional no tratamento DF, Tabelas 10 e 11). Tais discrepâncias entre as formas de amostragem podem acarretar em diferenças entre as doses recomendadas em cada tratamento.

Outro fator importante foi a diferença entre os tipos de fertilizantes utilizados em cada tratamento. Para as aplicações em doses variadas foram utilizadas as três fontes de N, P e K

separadamente, uma em cada aplicação. Já nas adubações em dose fixa foram utilizados fertilizantes formulados N-P-K, que é a prática usual de aplicação para toda a fazenda. Ao se utilizar esse tipo de fertilizante muitas vezes é necessário o arredondamento das doses de recomendação, uma vez que apenas alguns tipos de formulados são disponíveis à fazenda para aplicação. Dessa forma, a proporção de nutrientes demandada em cada área pode não ser exatamente atendida pela proporção de N, P e K presente no formulado utilizado. Naturalmente, a dose de recomendação é então arredondada para cima, gerando assim sobre aplicação e consequentemente economias no tratamento em dose variável.

De maneira geral, é difícil determinar exatamente a razão das diferenças observadas na quantidade de insumo utilizada em cada tratamento e em cada aplicação. Isso porque, os fatores apontados podem ocorrer isolados ou em conjunto, aumentando a complexidade da relação entre causa e efeito.

Tabela 5 - Estatística descritiva das doses recomendadas em taxa variável de N, P₂O₅ e K₂O

Área	Ano	Fonte de nutriente	Média (kg ha ⁻¹)	Desvio padrão (kg ha ⁻¹)	CV (%)	Mínimo (kg ha ⁻¹)	Máximo (kg ha ⁻¹)
1	2008	P ₂ O ₅	50,31	19,57	38,91	0,00	127,52
		K ₂ O	31,03	25,99	83,75	0,00	105,30
		N	181,26	21,33	11,77	104,81	209,11
	2009	P ₂ O ₅	119,14	16,73	14,05	49,39	153,19
		K ₂ O	68,19	24,85	36,44	0,00	120,77
		N	61,05	9,42	15,43	30,98	82,10
	2010	P ₂ O ₅	95,38	26,68	27,97	0,00	147,57
		K ₂ O	155,93	27,97	17,94	70,40	280,58
		N	178,70	14,73	8,24	114,53	252,38
	2011	P ₂ O ₅	100,74	28,37	28,16	0,00	162,53
		K ₂ O	118,52	41,40	34,93	0,00	211,62
2	2008	P ₂ O ₅	38,33	8,82	23,00	0,00	69,71
		K ₂ O	47,29	12,28	25,97	0,00	83,43
		N	121,90	21,17	17,37	75,93	182,45
	2009	P ₂ O ₅	86,86	12,33	14,20	37,16	131,31
		K ₂ O	87,33	19,07	21,84	15,29	155,33
		N	62,36	7,62	12,22	34,17	82,89
	2010	P ₂ O ₅	106,11	11,61	10,95	63,13	147,84
		K ₂ O	148,97	28,53	19,15	0,00	240,19
		N	179,15	25,52	14,24	75,34	273,27
	2011	P ₂ O ₅	42,31	48,38	114,37	0,00	143,87
		K ₂ O	178,99	25,77	14,40	77,68	289,60

Figura 12 - Variação de doses nos mapas de recomendação de N, P_2O_5 e K_2O na área 1

Figura 13 - Variação de doses nos mapas de recomendação de N, P_2O_5 e K_2O na área 2

Figura 14 - Necessidade de calcário nas áreas 1 e 2 para aplicações no tratamento DV

Figura 15 - Quantidades totais de insumos aplicadas nos tratamentos DV e DF, nas duas áreas, durante quatro anos e diferenças da quantidade aplicada no tratamento DV em relação ao DF

Tabela 6 - Diferenças no total utilizado de insumos durante quatro anos entre dose fixa e variável de aplicação

Área	Calcário	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
-----%				
1	-36,4	-37,4	2,1	-41,9
2	32,6	-51,2	-17,3	-18,5

4.3 Análise geoestatística

Nas Tabelas 7, 8 e 9 são apresentados respectivamente, os resultados da modelagem dos semivariogramas (em anexo) para os dados de N foliar, P, K e V% do solo obtidos pela amostragem, e também para os pontos de produtividade. Para a modelagem dos dados de solo e folhas foi utilizado principalmente o modelo esférico, seguindo o critério de menor valor de AIC para a escolha do modelo.

Para o N, P, K e V%, os maiores valores de R^2 foram obtidos para os semivariogramas da área 1 conferindo à eles maior confiabilidade ao modelo ajustado e ao cálculo do grau de dependência espacial. O P foi o elemento que apresentou os menores valores de R^2 , dificultando nesses casos, a interpretação da sua dependência espacial. Na área 2 alguns semivariogramas não apresentaram patamar e em um deles foi obtido o “efeito pepita puro” (ver tipos de semivariogramas, Figura 8), não permitindo a caracterização da dependência espacial. Para a maioria dos semivariogramas que apresentaram o patamar definido foi obtida dependência espacial moderada ou forte. Além disso, os valores de alcance foram normalmente maiores que a mínima distância entre amostras (aproximadamente 50 m) o que demonstra que a grade amostral utilizada propiciou a caracterização da parte estrutural do semivariograma. De maneira geral tais resultados indicam que a densidade de pontos utilizados na grade amostral foi adequada para interpolação e representação da variabilidade espacial das áreas.

Já para os dados de produtividade, foi utilizado o modelo exponencial para todos os semivariogramas analisados. Em 2008 e 2009 na área 1 e 2011 na área 2 foram obtidos semivariogramas sem patamar, em que a variância é crescente com o aumento da distância. Para as demais análises foi encontrada dependência espacial moderada, ao contrário do resultado encontrado por Molin e Mascarin (2007) e Molin, Colaço e Carlos (2011), que obtiveram o “efeito pepita puro” nos semivariogramas da produtividade em mapeamento de colheita manual. Os valores de alcance foram normalmente maiores do que a largura da faixa de colheita em cada área (27,2 m e 30,0 m entre as fileiras de sacolões), o que permitiu a estimativa de valores e interpolação dos mapas a partir da componente estrutural dos semivariogramas.

Tabela 7 - Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas dos dados de N foliar, P, K e V% do solo na área I

Variável	Ano	Tratamento	Modelo	C ₀ ⁽¹⁾	C ₁ ⁽²⁾	A ⁽³⁾	R ²	GD ⁽⁴⁾ (%)	DE ⁽⁵⁾
N	2009	DV	Esférico	0,02	0,006	523,5	0,70	76,92	Fraca
		DF	Esférico	0,01	0,01	267,1	0,95	50,00	Moderada
	2010	DV	Esférico	1,92	0,79	164	0,54	70,85	Moderada
		DF	Esférico	2,37	1,45	28,63	0,09	62,04	Moderada
	2011	DV	Exponencial	61,03	151,3	373,8	0,55	28,74	Moderada
		DF	Esférico	0,01	0,004	222,3	0,32	71,43	Moderada
	2012	DV	Esférico	1,42	4,06	353,4	0,93	25,91	Moderada
		DF	Esférico	0,39	2,95	96,86	0,22	11,68	Forte
P	2008	-	Esférico	42,87	27,04	81,86	0,12	61,32	Moderada
	2009	DV	Esférico	5,59	26,13	107,70	0,58	17,62	Forte
		DF	Esférico	21,80	25,87	175,70	0,69	45,73	Moderada
	2010	DV	Esférico	12,11	122,90	454,90	0,93	8,97	Forte
		DF	Gaussiano	0,00	95,28	77,37	0,90	0,00	Forte
	2011	DV	Esférico	111,90	12,91	116,30	0,04	89,66	Fraca
		DF	Esférico	74,16	22,18	160,02	0,12	76,98	Fraca
	2012	DV	Esférico	314,80	69,25	297,70	0,77	81,97	Fraca
		DF	Esférico	244,00	54,86	39,73	0,05	81,64	Fraca
K	2008	-	Esférico	1,02	1,04	174,70	0,89	49,51	Moderada
	2009	DV	Esférico	0,50	0,37	191,30	0,75	57,47	Moderada
		DF	Esférico	0,46	1,25	490,90	0,95	26,90	Moderada
	2010	DV	Esférico	0,06	0,12	242,60	0,89	33,33	Moderada
		DF	Esférico	0,00	0,45	200,00	0,83	0,00	Forte
	2011	DV	Linear com patamar	0,16	1,09	436,60	0,95	12,80	Forte
		DF	Gaussiano	0,53	2,29	334,40	0,95	18,79	Forte
	2012	DV	Esférico	0,00	0,36	129,70	0,57	0,00	Forte
		DF	Esférico	0,55	0,62	293,50	0,99	47,01	Moderada
V%	2008	-	Esférico	50,21	100,20	113,20	0,95	33,38	Moderada
	2009	DV	Esférico	58,51	221,20	252,70	0,89	20,92	Forte
		DF	Esférico	129,90	430,40	285,60	0,89	23,18	Forte
	2010	DV	Esférico	153,60	69,09	524,80	0,89	68,97	Moderada
		DF	Esférico	153,60	123,60	213,20	0,65	55,41	Moderada
	2011	DV	Exponencial	93,07	83,97	167,30	0,56	52,57	Moderada
		DF	Esférico	67,40	140,70	387,60	0,99	32,39	Moderada
	2012	DV	Esférico	245,60	91,13	250,70	0,72	72,94	Moderada
		DF	Esférico	60,12	336,10	86,79	0,85	15,17	Forte

⁽¹⁾ Efeito pepita; ⁽²⁾ Patamar parcial; ⁽³⁾ Alcance; ⁽⁴⁾ Grau de dependência espacial; ⁽⁵⁾ Classificação da dependência espacial.

Tabela 8 - Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas dos dados de N foliar, P, K e V% do solo na área 2

Variável	Ano	Tratamento	Modelo	C ₀ ⁽¹⁾	C ₁ ⁽²⁾	A ⁽³⁾	R ²	GD ⁽⁴⁾ (%)	DE ⁽⁵⁾
N	2009	DV	Esférico	0,00	0,03	128,00	0,80	0,00	Forte
		DF	Esférico	0,00	0,02	135,30	0,96	9,09	Forte
	2010	DV	Exponencial	0,79	1,91	43,01	0,84	29,26	Moderada
		DF	Esférico	0,87	5,24	151,70	0,81	14,24	Forte
	2011	DV	Exponencial	0,02	0,0**	-	0,09	-	-
		DF	Exponencial	0,01	- *	-	0,20	-	-
	2012	DV	Gaussiano	1,68	3,62	165,10	0,87	31,70	Moderada
		DF	Gaussiano	0,00	3,86	52,22	0,58	0,00	Forte
P	2008	-	Gaussiano	7,38	42,24	60,81	0,49	14,87	Forte
	2009	DV	Esférico	2,55	22,85	112,40	0,41	10,04	Forte
		DF	Gaussiano	3,99	46,59	61,74	0,48	7,89	Forte
	2010	DV	Esférico	1,83	10,19	255,00	0,96	15,22	Forte
		DF	Esférico	14,52	4,66	360,90	0,18	75,94	Fraca
	2011	DV	Esférico	15,50	183,00	150,60	0,91	7,81	Forte
		DF	Esférico	68,57	139,70	415,00	0,99	32,92	Moderada
	2012	DV	Esférico	92,82	12,67	66,40	0,00	87,99	Fraca
DF		Esférico	67,17	124,00	442,90	0,99	35,14	Moderada	
K	2008	-	Esférico	0,29	- *	-	0,66	-	-
	2009	DV	Esférico	0,01	0,19	100,40	0,29	5,00	Forte
		DF	Esférico	0,14	0,17	133,60	0,70	45,16	Moderada
	2010	DV	Esférico	0,02	0,38	253,70	0,89	5,00	Forte
		DF	Esférico	0,05	0,13	365,80	0,96	27,78	Moderada
	2011	DV	Esférico	0,06	- *	-	0,20	-	-
		DF	Esférico	0,03	0,02	134,00	0,27	60,00	Moderada
	2012	DV	Esférico	0,04	0,11	385,40	0,995	26,67	Moderada
DF		Esférico	0,04	0,05	224,30	0,60	44,44	Moderada	
V%	2008	-	Esférico	115,50	84,89	159,30	0,25	57,64	Moderada
	2009	DV	Esférico	18,52	221,90	116,40	0,31	7,70	Forte
		DF	Esférico	105,20	90,41	374,00	0,98	53,78	Moderada
	2010	DV	Gaussiano	37,29	133,40	93,49	0,77	21,85	Forte
		DF	Esférico	44,10	119,80	140,60	0,72	26,91	Moderada
	2011	DV	Esférico	61,03	151,30	373,80	0,97	28,74	Moderada
		DF	Esférico	69,96	- *	-	0,48	-	-
	2012	DV	Esférico	161,50	31,73	419,70	0,93	83,58	Fraca
DF		Esférico	169,40	16,62	227,40	0,24	91,07	Fraca	

⁽¹⁾ Efeito pepita; ⁽²⁾ Patamar parcial; ⁽³⁾ Alcance; ⁽⁴⁾ Grau de dependência espacial; ⁽⁵⁾ Classificação da dependência espacial; * semivariograma sem patamar; ** fenômeno do efeito pepita puro.

Tabela 9 - Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas dos dados de produtividade

Área	Ano	Tratamento	Modelo	$C_0^{(1)}$	$C_1^{(2)}$	$A^{(3)}$	R^2	$GD^{(4)}(\%)$	$DE^{(5)}$
1	2008	-	Exponencial	16,73	- *	-	0,89	-	-
	2009	DV	Exponencial	46,21	- *	-	0,98	-	-
		DF	Exponencial	36,53	- *	-	0,97	-	-
	2010	DV	Exponencial	9,94	32,73	22,00	0,91	23,30	Forte
		DF	Exponencial	25,27	23,33	119,00	0,93	52,00	Moderada
	2011	DV	Exponencial	55,82	22,46	56,29	0,91	71,31	Moderada
		DF	Exponencial	46,67	28,04	32,17	0,89	62,47	Moderada
	2012	DV	Exponencial	213,50	104,80	28,31	0,84	67,08	Moderada
		DF	Exponencial	299,40	114,10	48,17	0,81	72,41	Moderada
2	2008	-	Exponencial	5,15	5,56	65,77	0,998	48,06	Moderada
	2009	DV	Exponencial	5,99	14,11	22,64	0,91	29,80	Moderada
		DF	Exponencial	10,21	10,07	24,57	0,93	50,35	Moderada
	2010	DV	Exponencial	12,43	16,30	33,39	0,93	43,26	Moderada
		DF	Exponencial	20,05	25,65	46,46	0,92	43,87	Moderada
	2011	DV	Exponencial	47,26	- *	-	0,997	-	-
		DF	Exponencial	56,51	- *	-	0,88	-	-
	2012	DV	Exponencial	180,70	122,90	38,16	0,97	59,52	Moderada
		DF	Exponencial	244,40	100,10	74,36	0,91	70,94	Moderada

⁽¹⁾ Efeito pepita; ⁽²⁾ Patamar parcial; ⁽³⁾ Alcance; ⁽⁴⁾ Grau de dependência espacial; ⁽⁵⁾ Classificação da dependência espacial; * semivariograma sem patamar.

4.4 Atributos químicos do solo

A seguir serão apresentados os resultados obtidos a partir da amostragem de solo em cada tratamento. Salienta-se que os valores obtidos e os mapas são tanto geradores das recomendações daquele ano quanto resultado das adubações anteriores e, portanto devem ser analisados como tal.

Na Tabela 10 são apresentadas as médias de P, K e V% obtidas a partir da amostragem de solo em grade e também os resultados da amostragem realizada pela fazenda para a área 1 (valores entre parênteses no tratamento fixo). Para o P e V%, não houve diferença significativa (ao nível de 5% e significância) entre os teores médios nos dois tratamentos. Os seus níveis foram classificados como “médios” em todas as avaliações, exceto em 2012 para P onde foi encontrado alto nível do elemento no solo. Já o teor de K foi sempre menor, a partir de 2009, no tratamento variável. Nesse tratamento o teor do elemento foi classificado como “médio” (nível considerado adequado segundo classificação de Raij et al., 1997) em todos os anos, exceto em 2010 quando decaiu para o nível “baixo”. No tratamento uniforme, apresentou nível “alto” a partir de 2009, decaindo para “médio” em 2010 e voltando para “alto” em 2011 e 2012, revelando que as aplicações desse elemento normalmente foram realizadas acima da dose demandada para a área.

Em relação à variabilidade dos teores dentro de cada tratamento, a partir dos valores de CV, não foi possível observar um padrão consistente de maior uniformização em nenhum dos elementos ao se utilizar a aplicação em doses variadas nessa área. De 12 comparações entre DV e DF, em apenas metade das vezes foi obtido menor valor de CV no tratamento variável.

Relacionando esses resultados com o uso de insumos em cada tratamento, nota-se que o manejo proposto foi capaz de reduzir a quantidade aplicada nessa área sem prejudicar a fertilidade do solo, inclusive foi mais eficaz em adequar os teores de K para o nível médio.

Como já apontado anteriormente, uma das causas das diferenças entre as recomendações nos dois tratamentos é a diferença entre as metodologias de amostragem utilizadas para as recomendações em dose fixa e variada (amostragem em grade com duas amostras ha^{-1} – DV; e amostragem convencional de uma amostra composta em cada área – DF). Nas tabelas 10 e 11, nos valores entre parênteses, são observados os resultados da amostragem convencional realizada pela fazenda no tratamento DF e o contraste com a média oriunda da amostragem em grade no mesmo tratamento. Nota-se que em algumas ocasiões foram obtidos resultados semelhantes entre os dois métodos (K em 2009 e 2010 e P em 2011

na área 1 e P, K e V% em 2009 e 2010 na área 2), porém grandes divergências também foram encontradas, especialmente para os teores de P.

Nas Figuras 16 e 17 são visualizados os mapas de P, K e V% resultantes da amostragem de solo em grade na área 1, e o percentual da área classificado em cada nível de interpretação dos elementos. Em relação aos mapas de P, nota-se a variação dos teores no espaço, porém as manchas não se repetem entre os tratamentos ou ao longo dos anos; da mesma forma, não se relacionam com os mapas de altitude, argila ou condutividade elétrica do solo (Figuras 9, 10 e 11). Por outro lado, os mapas entre os tratamentos em cada ano foram semelhantes em relação ao percentual da área classificado em cada nível de interpretação do elemento. Até 2011, a maior parte da área nos dois tratamentos foi classificada como nível baixo ou médio.

Para os mapas de K, menores níveis foram encontrados no tratamento variável, como já descrito anteriormente. O tratamento também apresentou maior área classificada como nível médio e menores áreas com alto teor do elemento nos anos de 2009, 2011 e 2012. Além disso, esses mapas apresentaram uma relação interessante com os mapas de altitude e teor de argila, onde maiores concentrações do elemento ocorreram na porção mais baixa da área e com maior teor de argila. Essa relação é observada principalmente nos mapas do tratamento DF de 2009, 2011 e 2012. Nesses anos, nota-se que o tratamento em doses variadas foi capaz de reduzir o excesso de nutriente nessa região e equilibrar a fertilidade do solo em níveis médios em grande parte da área.

Semelhante ao K, os resultados referentes à V% também foram satisfatórios. A mesma relação com os mapas de altitude e teor de argila foi observada, se sobressaindo nos mapas do tratamento convencional. Melhor distribuição e maiores áreas em nível médio desse parâmetro foram observadas no tratamento DV.

Tabela 10 - Estatística descritiva de parâmetros químicos do solo na área 1

Ano	Elemento	Unidade	Tratamento	Média	CV (%)	Mínimo	Máximo	Nível
2008	P	mg dm ⁻³	-	13,8	65,7	6,0	59,0	Médio
	K	mmol _c dm ⁻³	-	2,8	49,3	1,0	6,7	Médio
	V (%)	%	-	61,4	20,3	29,4	85,5	Médio
2009	P	mg dm ⁻³	Variável	12,3	44,0	4,0	29,0	Médio
			Fixo	12,8 (21,0)	50,6	2,0	31,0	Médio
	K	mmol _c dm ⁻³	Variável	2,8*	33,0	1,6	7,0	Médio
			Fixo	3,7*(3,5)	31,2	2,0	7,4	Alto
	V (%)	%	Variável	58,4	29,6	23,3	92,1	Médio
			Fixo	63,9 (57,0)	29,7	13,9	89,5	Médio
2010	P	mg dm ⁻³	Variável	14,0	77,1	4,0	76,0	Médio
			Fixo	14,2 (9,0)	69,9	4,0	62,0	Médio
	K	mmol _c dm ⁻³	Variável	1,2*	35,7	0,4	2,7	Baixo
			Fixo	2,2* (2,3)	30,0	1,2	4,1	Médio
	V (%)	%	Variável	56,7	25,0	20,4	87,3	Médio
			Fixo	59,2 (43,0)	30,2	12,0	90,0	Médio
2011	P	mg dm ⁻³	Variável	15,7	71,0	5,0	62,0	Médio
			Fixo	12,3 (12,0)	77,4	5,0	67,0	Médio
	K	mmol _c dm ⁻³	Variável	2,5*	35,9	1,2	4,9	Médio
			Fixo	3,0* (1,8)	41,7	1,4	6,5	Alto
	V (%)	%	Variável	59,0	21,0	31,4	88,0	Médio
			Fixo	63,1 (44,0)	20,9	28,67	88,9	Médio
2012	P	mg dm ⁻³	Variável	31,3	61,6	3,0	76,0	Alto
			Fixo	38,0 (3,0)	46,3	9,0	75,0	Alto
	K	mmol _c dm ⁻³	Variável	2,3*	30,5	0,9	4,8	Médio
			Fixo	3,4* (2,4)	28,2	1,6	6,6	Alto
	V (%)	%	Variável	54,7	33,1	14,0	89,0	Médio
			Fixo	60,0 (25,0)	33,7	16,0	91,0	Médio

* Diferença significativa entre as médias dos tratamentos (ao nível de 5%); valores entre parênteses no tratamento fixo representam o resultado da amostragem realizada pela fazenda.

Figura 16 - Mapas de atributos químicos do solo na área 1

Figura 17 - Percentual da área 1 classificada como "alto", "médio", "baixo" e "muito baixo" para os níveis de K, P e V% nos tratamentos DV e DF

Na área 2 (Tabela 11), de maneira geral têm-se menores níveis dos atributos químicos quando comparados à área 1, que contém um solo naturalmente mais fértil, com maior percentual de argila e maior capacidade de troca catiônica. Nessa área, mais frequentemente obteve-se diferença entre as doses médias dos tratamentos – diferença significativa para o P em 2009, 2010 e 2012, para o K em 2009 e 2010 e para a V% em 2010. Nesses casos os menores teores ocorreram sempre no tratamento DV. De maneira geral, o tratamento em dose fixa atingiu mais frequentemente o nível médio dos elementos.

Os mapas de P, K e V% (Figura 18), também apresentaram resultados insatisfatórios para o tratamento DV, especialmente para os anos de 2009 e 2010. Nesses casos, menores áreas em nível médio e manchas com nível muito baixo foram obtidas no tratamento variável. Nos anos seguintes maior semelhança entre os mapas dos dois tratamentos foi observada (ver percentual da área classificada em cada nível de interpretação na Figura 19). Esse comportamento pode ser devido às baixas doses de insumos obtidas no início do experimento para o tratamento variável em relação ao fixo – em 2008 reduções de 31, 67 e 40% para calcário, P e K respectivamente, e de 42% de K em 2009. Isso sugere que as fórmulas de recomendação utilizadas não foram adequadas para a manutenção da fertilidade nessa área. Além disso, de 2008 para 2009 houve um significativo incremento de produtividade aumentando a extração de nutrientes do solo. Posteriormente, ajustes foram adotados no tratamento DV para as doses de K_2O , tornando os mapas mais semelhantes aos do tratamento DF em 2011 e 2012.

Pouca relação foi observada entre os mapas de P, K e V% com os mapas de altitude, teor de argila e condutividade elétrica do solo, uma vez que a área 2 apresentou pouca variação desses parâmetros se comparada à área 1. Destaque pode ser dado aos mapas de P em 2011 e 2012 no tratamento uniforme, onde os maiores níveis ocorreram em uma região com maior condutividade elétrica. Essa relação não foi observada no tratamento variável.

Tabela 11 - Estatística descritiva de parâmetros químicos do solo na área 2

Ano	Elemento	Unidade	Tratamento	Média	CV (%)	Mínimo	Máximo	Nível
2008	P	mg dm ⁻³	-	13,1	49,9	4,0	38,0	Médio
	K	mmol _c dm ⁻³	-	1,3	52,4	0,5	3,7	Baixo
	V (%)	%	-	45,9	31,6	22,0	82,8	Baixo
2009	P	mg dm ⁻³	Variável	11,1*	45,3	3,0	27,0	Baixo
			Fixo	15,6* (21,0)	45,3	3,0	35,0	Médio
	K	mmol _c dm ⁻³	Variável	1,5*	31,9	0,7	2,8	Baixo
			Fixo	2,0* (1,7)	28,8	1,1	3,5	Médio
	V (%)	%	Variável	35,8	47,5	11,0	86,9	Baixo
			Fixo	40,6 (43,7)	34,5	16,9	82,0	Baixo
2010	P	mg dm ⁻³	Variável	9,3*	35,5	4,0	19,0	Baixo
			Fixo	12,9* (12,0)	36,4	5,0	26,0	Médio
	K	mmol _c dm ⁻³	Variável	0,9*	65,8	0,3	2,8	Baixo
			Fixo	1,1* (0,9)	38,9	0,3	2,1	Baixo
	V (%)	%	Variável	27,3*	42,3	8,4	60,6	Baixo
			Fixo	34,9* (41,0)	34,7	11,0	63,1	Baixo
2011	P	mg dm ⁻³	Variável	28,1	51,5	5,0	59,0	Médio
			Fixo	27,4 (17,0)	47,8	6,0	56,0	Médio
	K	mmol _c dm ⁻³	Variável	1,3	22,7	0,8	2,0	Baixo
			Fixo	1,4 (0,6)	17,9	0,8	1,9	Baixo
	V (%)	%	Variável	53,0	25,9	25,2	79,6	Médio
			Fixo	55,1 (38,6)	17,5	30,3	82,5	Médio
2012	P	mg dm ⁻³	Variável	19,8*	50,7	5,0	52,0	Médio
			Fixo	25,1* (16,0)	49,4	5,0	65,0	Médio
	K	mmol _c dm ⁻³	Variável	1,1	35,3	0,3	1,9	Baixo
			Fixo	1,2 (2,1)	29,9	0,4	2,1	Baixo
	V (%)	%	Variável	43,0	31,6	11,0	69,0	Baixo
			Fixo	47,7 (41,0)	28,9	17	74,0	Baixo

* Diferença significativa entre as médias dos tratamentos (ao nível de 5%); valores entre parênteses no tratamento fixo representa o resultado da amostragem realizada pela fazenda.

Figura 18 - Mapas de atributos químicos do solo na área 2

Figura 19 - Percentual da área 2 classificada como “alto”, “médio”, “baixo” e “muito baixo” para os níveis de K, P e V% nos tratamentos DV e DF

4.5 Atributos químicos das folhas

Os resultados das amostragens foliares, apresentados nas Tabelas 12 e 13, revelam altos teores de N, P e K nas folhas. Pouca diferença foi notada entre os níveis médios de cada tratamento, sendo que apenas os teores de K em 2010, N em 2011 na área 1, e K em 2010 na área 2, diferiram estatisticamente. Mesmo nesses casos as classes de interpretação foram as mesmas para os dois tratamentos. Dessa forma pode-se constatar que não houve qualquer efeito dos tratamentos na nutrição foliar.

Os valores de CV obtidos para cada elemento foram em sua maioria baixos e semelhantes entre os tratamentos (Tabelas 12 e 13). De maneira geral, o elemento que apresentou maior variação foi o K, seguido do P. As menores variações foram obtidas para o N, que por sua vez foi o único elemento da amostragem foliar utilizado para gerar recomendações de adubo. Baixa variabilidade espacial dos teores foliares de N, P e K também foi encontrada por Faulin (2010) em resultados de análises foliares de café obtidos pela amostragem georreferenciada em grade.

Os custos das análises foliares são normalmente significativamente maiores do que para análises de solo e, dados tais resultados, fornecem pouca informação referente à variabilidade espacial se comparada à análise da fertilidade do solo. Isso sugere que para aumentar a viabilidade econômica da técnica sem afetar significativamente a qualidade da recomendação em dose variável a análise dos teores foliares de nutrientes poderia ser eliminada da investigação da variabilidade espacial.

Os mapas dos atributos químicos foliares também revelam predominância de áreas com alto nível dos elementos, especialmente na área 1. Na área 2, embora o teor adequado seja mais frequente do que na primeira área, também há predominância de altos níveis dos elementos. Em 2011 nota-se uma redução dos teores nas duas áreas e para os dois tratamentos. Tal redução pode ter sido causada pelo significativo aumento da produtividade de 2010 para 2011 (Tabela 15 e Figura 22).

Pouca relação pode ser ressaltada entre os mapas dos teores foliares e os mapas de altitude, teor de argila ou condutividade elétrica do solo.

Tabela 12 - Estatística descritiva de parâmetros químicos de folha na área 1

Ano	Elemento	Tratamento	Média (g kg ⁻¹)	CV (%)	Máximo (g kg ⁻¹)	Mínimo (g kg ⁻¹)	Nível
2009	N	Variável	29,6	6,0	33,5	26,2	Alto
		Fixo	29,6	5,7	33,2	25,9	Alto
	P	Variável	1,8	7,2	2,2	1,5	Alto
		Fixo	1,7	6,8	2,0	1,5	Alto
	K	Variável	17,3	10,4	21,7	13,7	Alto
		Fixo	17,6	11,1	20,5	11,5	Alto
2010	N	Variável	30,7	5,4	34,0	27,7	Excessivo
		Fixo	30,3	6,4	33,5	26,6	Excessivo
	P	Variável	1,8	8,7	2,1	1,5	Alto
		Fixo	1,8	12,8	2,3	0,9	Alto
	K	Variável	17,8*	12,7	23,2	12,2	Alto
		Fixo	19,1*	15,5	24,9	10,6	Alto
2011	N	Variável	23,9*	5,1	26,6	22,1	Adequado
		Fixo	24,4*	5,6	27,0	21,6	Adequado
	P	Variável	1,5	9,4	1,7	1,2	Adequado
		Fixo	1,5	8,3	1,7	1,2	Adequado
	K	Variável	12,2	13,7	16,9	8,8	Adequado
		Fixo	12,1	12,1	18,2	9,5	Adequado
2012	N	Variável	29,7	7,3	34,3	23,9	Alto
		Fixo	30,8	5,9	33,4	24,6	Excessivo
	P	Variável	1,8	11,9	2,6	1,4	Alto
		Fixo	1,9	11,5	2,4	1,4	Alto
	K	Variável	17,2	11,4	22,1	12,8	Alto
		Fixo	17,6	12,4	22,7	12,5	Alto

* Diferença significativa entre as médias dos tratamentos (ao nível de 5%).

Tabela 13 - Estatística descritiva de parâmetros químicos de folha na área 2

Ano	Elemento	Tratamento	Média (g kg ⁻¹)	CV (%)	Máximo (g kg ⁻¹)	Mínimo (g kg ⁻¹)	Nível
2009	N	Variável	30,1	5,8	33,7	27,2	Excessivo
		Fixo	29,9	5,3	33,4	27,0	Alto
	P	Variável	1,7	8,6	2,2	1,4	Alto
		Fixo	1,7	8,1	2,0	1,4	Alto
	K	Variável	15,2	19,6	23,0	10,3	Alto
		Fixo	16,3	18,9	22,9	8,5	Alto
2010	N	Variável	29,1	5,8	33,3	25,8	Alto
		Fixo	29,6	8,0	33,7	23,9	Alto
	P	Variável	1,6	7,5	1,9	1,4	Alto
		Fixo	1,6	10,7	2,0	1,2	Alto
	K	Variável	19,5*	9,7	23,9	16,4	Alto
		Fixo	18,1*	13,2	23,7	11,6	Alto
2011	N	Variável	23,8	6,0	27,4	21,7	Adequado
		Fixo	23,8	6,2	27,7	21,6	Adequado
	P	Variável	1,5	18,8	3,1	1,2	Adequado
		Fixo	1,5	19,1	2,8	1,1	Adequado
	K	Variável	11,4	15,1	17,8	8,7	Adequado
		Fixo	11,4	17,0	16,7	8,4	Adequado
2012	N	Variável	30,9	7,4	34,0	23,9	Excessivo
		Fixo	30,2	7,5	34,3	23,5	Excessivo
	P	Variável	1,7	11,3	2,2	1,3	Alto
		Fixo	1,6	11,8	2,2	1,3	Alto
	K	Variável	16,8	9,1	21,5	13,9	Alto
		Fixo	15,4	7,8	17,6	12,5	Alto

* Diferença significativa entre as médias dos tratamentos (ao nível de 5%).

Figura 20 - Mapas de atributos químicos de folha na área 1

Figura 21 - Mapas de atributos químicos de folha na área 2

4.6 Qualidade dos frutos e do suco

Os efeitos da aplicação em doses variadas e da variabilidade espacial na qualidade dos frutos e do suco foram investigados a partir de amostragem de frutos nos dois tratamentos. As amostras retiradas entre regiões de diferentes níveis de K no solo não variaram estatisticamente para nenhum dos parâmetros avaliados, o que a princípio leva a conclusão de que a variabilidade espacial desse fator não influenciou as características de qualidade do fruto ou do suco. Porém, um fator metodológico importante pode ter influenciado o resultado final. A escolha dos locais de amostragem se baseou nos mapas de K no solo gerados pela amostragem do ano anterior, uma vez que, de acordo com o período estabelecido para amostragem de solo e colheita, não houve tempo hábil para obtenção dos mapas de solo do mesmo ano antes da coleta de frutos para análise. Dessa forma, possivelmente os mapas de K utilizados já não representavam adequadamente a variabilidade espacial do elemento no momento da coleta de frutos.

Como não houve diferença estatística entre as amostras coletadas nas diferentes regiões de K no solo, foi utilizado todo o conjunto de dados para a comparação entre os tratamentos. Assim, os resultados apresentados na Tabela 14 são referentes à média de nove amostras coletadas em cada tratamento.

Tabela 14 - Parâmetros da qualidade dos frutos e do suco nos tratamentos DV e DF em 2011 e 2012

Área	Ano	Tratamento	Acidez ⁽¹⁾	Sólidos Solúveis ⁽²⁾	Razão SS/A	Peso do fruto (kg)	Rendimento de suco (%)
1	2011	DV	0,67	11,01	16,56*	0,18*	0,48
		DF	0,70	10,81	15,41*	0,19*	0,47
	2012	DV	0,77*	10,58	13,82*	0,20	0,51
		DF	0,88*	10,84	12,39*	0,20	0,50
2	2011	DV	0,69	11,58	16,86	0,18	0,51
		DF	0,73	11,20	15,52	0,19	0,51
	2012	DV	0,72*	10,59	14,72*	0,21*	0,51
		DF	0,81*	11,06	13,80*	0,19*	0,51

* Diferença significativa entre as médias dos tratamentos (ao nível de 5%). ⁽¹⁾ Acidez (A), gramas de ácido cítrico por 100 gramas de suco; ⁽²⁾ Sólidos solúveis (SS) em °Brix.

O fator que mais sofreu influência do tratamento proposto foi a proporção entre sólidos solúveis e acidez, a razão SS/A. Em três de quatro avaliações o valor no tratamento variável foi significativamente maior, o que é desejado para a qualidade do suco. A acidez foi menor nesse tratamento nas duas áreas em 2012, influenciando no aumento da razão SS/A. O teor de sólidos solúveis e o rendimento de suco se mantiveram constantes para os tratamentos em todas as avaliações. Diferença significativa também ocorreu no peso do fruto na área 1 em 2011 e na área 2 em 2012, porém foram resultados contraditórios, dificultando a constatação do efeito dos tratamentos nesse parâmetro.

Os resultados obtidos apresentaram uma relação coerente com as quantidades utilizadas de K nas adubações dos dois tratamentos. Altas doses desse elemento fazem aumentar a acidez e diminuir o teor de sólidos solúveis do suco, o que não é desejado para suas características. A razão SS/A também deve diminuir nessa situação. Como visto anteriormente o tratamento variável propiciou redução de áreas com alto teor de K no solo, o que se refletiu em maior qualidade do suco em relação à acidez e razão SS/A. Observa-se que a acidez foi significativamente menor (em 2012 nas duas áreas) quando houve reduções no uso de K_2O na adubação anterior, em 2011 (Figura 15). Em 2010 quando houve maior uso de K_2O no tratamento variável na área 2, não foi observado melhoria da razão SS/A no fruto de 2011.

O N também é muito influente nas características de qualidade do suco e do fruto. Esse nutriente é responsável por aumentar o teor de sólidos solúveis no suco, o que é desejável. Embora tenha sido menos utilizado em todas as adubações em doses variadas (Figura 15), não foi observada a redução dos sólidos solúveis nesse tratamento.

4.7 Produtividade

A Tabela 15 mostra o aumento da produtividade ao longo dos anos, condizente com o crescimento das copas e capacidade produtiva dos pomares que apresentavam 6 e 5 anos de idade (área 1 e 2, respectivamente) em 2008 e 10 e 9 anos em 2012. Além disso, maiores produtividades foram atingidas normalmente na área 1.

Entre as produtividades médias dos tratamentos foi observada diferença significativa principalmente na área 1, onde maiores valores ocorreram no tratamento variável em 2009, 2010 e 2011. Nesses anos, foram observados respectivamente incrementos na produtividade de 6,7%, 13,1% e 8,1%, correspondentes à aproximadamente 25, 37 e 48 t de laranja a mais nesse tratamento (considerando as colheitas de frutas temporãs, ocorridas em 2009 e 2010).

Apesar de utilizar uma quantidade total de insumos menor, o tratamento variável promove melhor distribuição dos mesmos – inclusive, mesmo que em média as doses variáveis tenham sido menores que as da aplicação uniforme, frequentemente, algumas regiões receberam doses maiores no tratamento variável do que no fixo, favorecendo o aumento da produtividade. Além disso, um fator que pode influenciar na eficiência e aproveitamento dos fertilizantes é o tipo de distribuição da máquina aplicadora de doses variadas, que direciona a aplicação apenas na região da projeção da copa (Figura 6), onde há maior concentração de raízes. Na aplicação convencional, com distribuição centrífuga, parte do adubo também é aplicada no meio das ruas do pomar.

Em relação à variabilidade espacial da produtividade, pouca diferença é observada entre os valores de CV dos tratamentos, da mesma forma, a amplitude dos dados de produtividade não foi consistentemente menor no tratamento variável, o que indica que o manejo localizado não afetou a variabilidade da produtividade nessa área.

Na área 2, menores produtividades foram recorrentes no tratamento variável e diferença significativa foi observada em 2009 (produtividade média 3% inferior no tratamento DV) e 2011 (produtividade média 7,6% inferior no tratamento DV). Nos anos de 2010 e 2012, embora o tratamento variável não tenha superado a produção do tratamento uniforme, menores amplitudes e CV foram encontrados, indicando maior uniformidade da produtividade ao se utilizar o manejo localizado. Nessa área pode-se considerar que a redução de insumos e o seu impacto negativo na fertilidade do solo até 2010 pode ter afetado a produção no tratamento variável.

Os resultados de produtividade são semelhantes àqueles verificados por Faulin (2010) na cultura do café. Em quatro áreas e durante várias safras avaliadas, totalizando treze

avaliações entre taxa variável e fixa de aplicação de fertilizantes, não houve efeito do tratamento na produtividade em apenas duas avaliações. Em seis delas maior produtividade ocorreu no tratamento variável. Nas demais, produtividade menor foi obtida nesse tratamento, porém com menor discrepância. De maneira geral, os ganhos obtidos foram superiores às perdas e assim um incremento de 240 kg ha⁻¹ foi proporcionado pelo manejo localizado.

Tabela 15 - Estatística descritiva da produtividade e total produzido em cada tratamento

Área	Ano	Tratamento	Produtividade colheita principal				Colheita temporã (t)	Total ⁽¹⁾ (t)
			Média (t ha ⁻¹)	CV (%)	Mínimo (t ha ⁻¹)	Máximo (t ha ⁻¹)		
1	2008	-	16,62	26,49	3,45	43,08	-	427,01
	2009	Variável	36,52*	23,26	3,02	81,44	28,97	498,20
		Fixo	34,22*	22,20	11,13	79,27	33,54	473,25
	2010	Variável	23,45*	24,98	9,03	45,15	28,64	329,94
		Fixo	20,72*	26,20	5,11	46,29	26,74	292,94
	2011	Variável	49,46*	16,42	20,67	93,02	-	635,61
		Fixo	45,73*	16,06	21,39	85,55	-	587,66
	2012	Variável	64,53	26,22	32,47	120,58	-	829,22
		Fixo	64,70	29,01	21,31	145,48	-	831,45
2	2008	-	12,45	20,93	3,24	25,95	-	320,04
	2009	Variável	20,97*	19,14	9,24	35,26	84,21	353,63
		Fixo	21,63*	19,24	8,88	35,51	94,33	372,31
	2010	Variável	22,80	19,84	7,29	39,56	6,20	299,23
		Fixo	23,54	23,72	8,51	51,08	4,98	307,44
	2011	Variável	45,27*	18,84	8,27	74,39	-	581,67
		Fixo	49,04*	19,21	11,98	85,37	-	630,17
	2012	Variável	58,74	25,05	22,06	110,61	-	754,85
		Fixo	58,16	30,37	17,24	129,23	-	747,40

* Diferença significativa entre as médias dos tratamentos (ao nível de 5%). ⁽¹⁾ Soma do total da colheita principal com a colheita da fruta temporã.

Figura 22 - Mapas de produtividade obtidos em cada tratamento, de 2008 a 2012

Ao relacionar o total de laranja produzido ao longo dos anos ao uso de insumos em cada tratamento pode-se avaliar a eficiência de uso dos fertilizantes (Figura 23). Ela é interpretada como a quantidade de produto gerada para cada unidade de insumo utilizada. Observa-se que a eficiência para o uso de N, P e K foi sempre maior no manejo localizado, o que reflete a melhor distribuição e aproveitamento dos nutrientes pelas plantas. Mesmo na área 2, que não apresentou incrementos na produtividade, também se conseguiu maior eficiência na aplicação localizada. Para as duas áreas, possivelmente o ganho na eficiência de uso dos fertilizantes está mais relacionado à redução no uso dos insumos do que ao ganho em produtividade.

Figura 23 - Eficiência de uso de fertilizantes para dose de aplicação fixa e variável

4.8 Avaliação geral

De maneira geral o manejo localizado propiciou significativas reduções na quantidade aplicada de insumos, principalmente para os adubos nitrogenados e potássicos. Isso resultou em maior eficiência no uso de insumos nas duas áreas avaliadas, o que significa que para cada unidade de fertilizante utilizada maior produção foi obtida.

Os efeitos na fertilidade do solo e na produtividade foram distintos para as duas áreas avaliadas, uma vez que os pomares apresentaram diferentes características de solo e da variabilidade espacial. A área 1 exibiu maior variação de atributos não antrópicos e intrínsecos ao campo como variações no relevo e teor de argila do que a área 2, o que confere

a ela maior potencial de ganho ao se utilizar técnicas de manejo localizado. Salienta-se, portanto, que áreas com maior variabilidade espacial devem ser priorizadas no processo de adoção da AP.

Na área 1, bons resultados foram obtidos em relação à fertilidade do solo. O uso otimizado de insumos no tratamento variável propiciou redução de regiões com excesso de nutrientes, aumentando áreas com nível adequado de K e V%. Maiores produtividades também foram obtidas para o tratamento variável nessa área.

Na área 2, de textura arenosa e com menor fertilidade química natural, as reduções de insumos principalmente nos dois primeiros anos prejudicaram parâmetros da fertilidade do solo no tratamento variável, o que possivelmente foi responsável pelas perdas de produtividade observadas em duas das quatro safras avaliadas. O constante monitoramento do solo permitiu que ajustes fossem aplicados nas ações de manejo anualmente. Dessa forma, no quarto e quinto ano de avaliação os mapas dos atributos químicos do solo entre os tratamentos se apresentaram mais semelhantes, assim como as quantidades totais de insumos utilizadas.

Os resultados principais em relação ao uso de insumos (economias de adubos nitrogenados entre 37 e 51% e potássicos, entre 18% e 41%) são comparáveis àqueles encontrados na literatura (38% de redução no adubo nitrogenado na cultura da maçã – AGGELOPOULOU et al., 2010; e 40 % na cultura da laranja – ZAMAN, SCHUMANN, MILLER; 2005). Da mesma forma para os resultados da produtividade, Faulin (2010) obteve juntamente com redução de insumos (principalmente de adubos nitrogenados e potássicos), ganhos em produtividade ao avaliar adubações em doses variadas na cultura do café.

Como trabalhos futuros recomenda-se a avaliação dos aspectos econômicos da taxa variável de aplicação a fim de verificar a sua viabilidade, uma vez que maiores custos com amostragem, equipamentos e processamento de informações, estão envolvidos nessa forma de gerenciamento. Metodologias para definição de unidades de manejo diferenciado também devem ser abordadas em trabalhos futuros, de forma a direcionar amostragens e ações de manejo.

Outra demanda importante é a adaptação e validação das tecnologias de mapeamento de volume de copa e produtividade por planta já desenvolvidas no estado da Florida para as condições dos pomares nacionais. Dessa forma, pode-se aumentar a resolução do manejo localizado para plantas individuais, que é o foco da horticultura de precisão.

5 CONCLUSÕES

A tecnologia de aplicação de adubos e corretivo em doses variadas apresentou vantagens principalmente na otimização do uso de insumos, pois possibilitou a redução do consumo, ao mesmo tempo em que aumentou a eficiência de uso e aproveitamento dos mesmos pela cultura.

O estudo demonstrou o potencial da tecnologia em aumentar a produtividade e melhorar parâmetros da fertilidade do solo (reduzir regiões com excesso de nutrientes e aumentar áreas com nível adequado dos elementos), mas constante monitoramento deve ser adotado para que o manejo da fertilidade seja adequado e não comprometa o rendimento da cultura.

Em relação à nutrição foliar, não foi obtido qualquer efeito dos tratamentos nos teores médios de N, P e K. A variabilidade espacial desses parâmetros foi baixa e também não sofreu influência do manejo proposto.

Para a qualidade do suco, o tratamento variável proporcionou frutos com menor acidez e maior relação entre sólidos solúveis e acidez, o que é desejável nas características de suco para a indústria de processamento.

REFERÊNCIAS

ADRIAN, A.M.; NORWOOD, S.H.; MASK, P.L. Producers' perceptions and attitudes toward precision agriculture technologies. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 48, n. 3, p. 256-271, 2005.

AGGELOPOULOU, K.D.; PATERAS, D.; FOUNTAS, S.; GEMTOS, T.A.; NANOS, G.D. Soil spatial variability and site-specific fertilization maps in an apple orchard. **Precision Agriculture**, Secaucus, v. 12, n. 1, p. 118-129, 2010.

AKAIKE, H. Likelihood of a model and information criteria. **Journal of Econometrics**, Amsterdam, v.16, n. 1, p. 3-14, 1981.

ALVA, A.K.; PARAMASIVAM, S.; OBREZA, T.A.; SCHUMANN, A.W. Nitrogen best management practice for citrus trees I. Fruit yield, quality and leaf nutritional status. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 107, n. 3, p. 233-244, 2006a.

ALVA, A.K.; PARAMASIVAM, S.; FARES, A.; OBREZA, T.A.; SCHUMANN, A.W. Nitrogen best management practice for citrus trees II. Nitrogen fate, transport, and components of N budget. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 109, n. 3, p. 223-233, 2006b.

AMPATZIDIS, Y.G.; VOUGIOUKAS, S.G.; BOCHTIS, D.D.; TSATSARELIS, C.A.A. A yield mapping system for hand-harvested fruits based on RFID and GPS location technologies: field testing. **Precision Agriculture**, Secaucus, v. 10, n. 1, p. 63-72, 2009.

ARNÓ, J.; ROSELL, J.R. Review . Precision Viticulture . Research topics , challenges and opportunities in site-specific vineyard management. **Spanish Journal of Agriculture Research**, Madrid, v. 7, n. 4, p. 779-790, 2009.

BASSANEZI, R.B.; MONTESINO, L.H.; GASPAROTO, M.C.G.; BERGAMIN FILHO, A.; AMORIM, L. Yield loss caused by huanglongbing in different sweet orange cultivars in São Paulo, Brazil. **European Journal of Plant Pathology**, Dordrecht, v. 130, n. 4, p. 577-586, 2011.

BELIK, W.; PAULILLO, L.F.; VIAN, C.E.D.F. A emergência dos conselhos setoriais na agroindústria brasileira: gênese de uma governança mais ampla? **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 50, n. 1, p. 9-32, 2012.

BIFFI, L.J.; RAFAELI NETO, S.J. Comportamento espacial de variáveis agronômicas de maçã “fuji” durante dois anos de observações no planalto serrano de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 30, n. 4, p. 975-980, 2008.

BONGIOVANNI, R.; LOWENBERG-DEBOER, J. Economics of variable rate lime in Indiana. **Precision Agriculture**, Secaucus, v. 2, p. 55-70, 2000.

BONGIOVANNI, R.; LOWENBERG-DEBOER, J. Precision agriculture and sustainability. **Precision Agriculture**, Secaucus, v. 5, p. 359-387, 2004.

BOTEON, M.; NEVES, E.M. Citricultura brasileira: aspectos econômicos. In: D. MATTOS JR., D.; NEGRI J. D.; PIO, R.M.; J. POMPEU JR., J.P. **Citros**. Campinas: Instituto Agrônomo, Fundag, 2005. cap. 2, p. 20-36.

BOTEON, M.; PAGLIUCA, L. G. Análise da sustentabilidade econômica da citricultura paulista. **Citrus Research and Technology**, Cordeirópolis, v. 31, n. 2, p. 101-106, 2010.

BOVÉ, J.M. Huanglongbing: A destructive, newly-emerging, century-old disease of citrus. **Journal of Plant Pathology**, Pisa, v. 88, n. 1, p. 7-37, 2006.

BOYER, C.N.; WADE BRORSEN, B.; SOLIE, J.B.; RAUN, W.R. Profitability of variable rate nitrogen application in wheat production. **Precision Agriculture**, Secaucus, v. 12, n. 4, p. 473-487, 2010.

BULLOCK, D.S.; LOWENBERG-DEBOER, JESS; SWINTON, S.M. Adding value to spatially managed inputs by understanding site-specific yield response. **Agricultural Economics**, Prague, v. 27, p. 233-245, 2002.

CALDERÓN, C.A.V.; MARTÍNEZ, L.J.; HENAO, R.G. Variabilidad espacial del suelo y su relacion con el rendimiento de mango (*Mangifera indica* L.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 30, n. 4, p. 1146-1151, 2008.

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 Science Society of America Journal**, Madison, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994.

CHAN, C.W.; SCHUELLER, J.K.; MILLER, W.M.; WHITNEY, J. D.; CORNELL, J.A. Error sources affecting variable rate application of nitrogen fertilizer. **Precision Agriculture**, Secaucus, v. 5, p. 601-616, 2004.

CHAN, C.W.; SCHUELLER, J.K.; MILLER, W.M.; WHITNEY, J.D.; CORNELL, J.A. Error Sources on Yield-Based Fertilizer Variable Rate Application Maps. **Precision Agriculture**, Secaucus, v. 3, p. 81-94, 2002.

CHEN, Y.; ZHU, H.; OZKAN, H.E. Development of a variable-rate sprayer with laser scanning sensor to synchronize spray outputs to tree structures. **Transactions Of The Asabe**, St Joseph, v. 55, n. 3, p. 773-781, 2012.

CHINCHULUUN, R.; LEE, W.S.; EHSANI, R. Citrus yield mapping system on a canopy shake and catch harvester. In: 2007 ASABE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 2007, Minneapolis. **Anais...** Minneapolis: ASABE, 2001. Disponível em: <<http://elibrary.asabe.org>>. Acesso em: 20 out. 2011.

COLAÇO, A.F.; POVH, F.P.; MOLIN, J.P.; ROMANELLI, T.L. Energy assessment for variable rate nitrogen application. **CIGR Journal**, Gainesville, v. 14, n. 3, p. 85-90, 2012.

COSTA, M.G.; BARBOSA, J.C.; YAMAMOTO, P.T.; LEAL, R.M. Spatial distribution of *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera:Psyllidae) in citrus orchards. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 67, n. 5, p. 546-554, 2010.

DWORAK, V.; SELBECK, J.; EHLERT, D. Ranging sensors for vehicle-based measurement of crop stand and orchard parameters: a review. **Transactions Of The Asabe**, St Joseph, v. 54, n. 4, p. 1497-1510, 2011.

EHSANI, R.; SANKARAN, S.; MAJA, J.M.; CAMARGO NETO, J. Affordable multi-rotor remote sensing platform for applications in precision horticulture. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 11., Indianápolis. **Anais...** Indianápolis: ISPA, 2012. 1CD-ROM.

EHSANI, R.; SCHUMANN, A.; SALYANI, M. Variable rate technology for Florida citrus. **University of Florida IFAS Extensions**, Gainesville, 2009. Disponível em : <<http://edis.ifas.ufl.edu>>. Acesso em: 11 nov. 2010.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT, 2010. Disponível em: <www.fao.org>. Acesso em: 1 set. 2012.

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

FAULIN, G.D.C. **Influência da adubação em doses variadas na produtividade e no estado nutricional da cultura do café**. 2010. 103p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luis de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

FOUNTAS, S.; AGGELOPOULOU, K.; BOULOULIS, C.; NANOS, G.D.; WULFSOHN, D.; GEMTOS, T.A.; PARASKEVOPOULOS, A.; GALANIS, M. Site-specific management in an olive tree plantation. **Precision Agriculture**, Secaucus, v. 12, n. 2, p. 179-195, 2010.

GEBBERS, R.; ADAMCHUK, V.I. Precision agriculture and food security. **Science**, Washington, v. 327, n. 5967, p. 828-831, 2010.

GODWIN, R.J.; MILLER, P.C.H. A review of the technologies for mapping within-field variability. **Biosystems Engineering**, London, v. 84, n. 4, p. 393-407, 2003.

GRIFFIN, T.W.; LOWENBERG-DEBOER, J. Worldwide adoption and profitability of precision agriculture: Implications for Brazil. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, v. 14, n. 4, p. 20-38, 2005.

GRIFT, T.; EHSANI, R.; NISHIWAKI, K.; CRESPI, C.; MIN, M. Development of a yield monitor for citrus fruits. In: 2006 ASABE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 2006, Portland. **Anais...** Portland: ASABE, 2001. Disponível em: <<http://elibrary.asabe.org>>. Acesso em: 12 mar. 2012.

ISGIN, T.; BILGIC, A.; FORSTER, D.L.; BATTE, M.T. Using count data models to determine the factors affecting farmers' quantity decisions of precision farming technology adoption. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 62, n. 2, p. 231-242, 2008.

JOHNSON, R.M.; RICHARD, E.P. Variable-rate lime application in Louisiana sugarcane production systems. **Precision Agriculture**, Secaucus, v. 11, n. 5, p. 464-474, 2009.

KANE, K.E.; LEE, W.S. Multispectral imaging for In-field green citrus identification. In: 2007 ASABE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 2007, Minneapolis. **Anais...** Minneapolis: ASABE, 2001. Disponível em <<http://elibrary.asabe.org>>. Acesso em: 20 out. 2011.

KHOSLA, R.; INMAN, D.; WESTFALL, D.G.; REICH, R.M.; FRAISER, M.; MZUKU, M.; KOCH, B.; HORNUNG, A. A synthesis of multi-disciplinary research in precision agriculture: site-specific management zones in the semi-arid western Great Plains of the USA. **Precision Agriculture**, Secaucus, v. 9, n. 1, p. 85-100, 2008.

KHOT, L. R.; EHSANI, R.; ALBRIGO, G.; LARBI, P. A.; LANDERS, A.; CAMPOY, J.; WELLINGTON, C. Air-assisted sprayer adapted for precision horticulture: Spray patterns and deposition assessments in small-sized citrus canopies. **Biosystems Engineering**, London, v. 113, n. 1, p. 76-85, 2012.

KING, J.A.; DAMPNEY, P.M.R.; LARK, R.M.; WHEELER, H.C.; BRADLEY, R.I.; MAYR, T.R. Mapping potential crop management zones within fields: use of yield-map series and patterns of soil physical properties identified by electromagnetic induction sensing. **Precision Agriculture**, Secaucus, v. 6, n. 1, p. 167-181, 2005.

KOCH, B.; KHOSLA, R. The role of precision agriculture in cropping systems. **Journal of Crop Production**, Philadelphia, v. 9, p. 361-381, 2003.

KONOPATZKI, M.R.S.; SOUZA, E.G.; NÓBREGA, L.H.P.; URIBE-OPAZO, M.A.; SUSZEK, G. Spatial variability of yield and other parameters associated with pear trees. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 2, p. 381-392, 2012.

LAMB, S.T.; GRAHAM, W.D.; HARRISON, C.B.; ALVA, A.K. Impact of alternative citrus management practices on ground water nitrate in the central Florida Ridge I. Field investigation. **Transactions Of The Asabe**, St Joseph, v. 42, n. 6, p. 1653-1668, 1999.

LEAL, R.M.; BARBOSA, J.C.; COSTA, M.G. ;BELASQUE JR., J.; YAMAMOTO, P.T.; DRAGONE, J. Distribuição espacial de huanglongbing (greening) em citros utilizando a geoestatística. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 32, n. 3, p. 808-818, 2010.

LEE, K.H.; EHSANI, R. A laser scanner based measurement system for quantification of citrus tree geometric. **Applied Engineering in Agriculture**, St Joseph, v. 25, n. 5, p. 777-788, 2009.

LEÃO, M.G.A.; MARQUES JR., J.; SOUZA, Z.M. de; PEREIRA, G.T. Variabilidade espacial da textura de um Latossolo sob cultivo de citros. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 1, p. 121-131, 2010.

LOPES, F. de A. **Adubação em doses variadas em citros**. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

MAJA, J.M.; EHSANI, R. Development of a yield monitoring system for citrus mechanical harvesting machines. **Precision Agriculture**, Secaucus, v. 11, n. 5, p. 475-487, 2010.

MANN, K.K.; SCHUMANN, A.W.; OBREZA, T.A. Delineating productivity zones in a citrus grove using citrus production, tree growth and temporally stable soil data. **Precision Agriculture**, Secaucus, v. 12, n. 4, p. 457-472, 2010.

MARUYAMA, W.I.; BARBOSA, J.C.; TOSCANO, L.C. Distribuição Espacial de *Oncometopia facialis* (Signoret) (Hemiptera : Cicadellidae) em Pomar Cítrico. **Neotropical Entomology**, Dordrecht, v. 35, n. 1, p. 93-100, 2006.

MATTOS JR., D.; NEGRI J.D.; PIO, R.M.; J. POMPEU JR., J.P. **Citros**. Campinas: Instituto Agrônômico, Fundag, 2005. 929p.

MILLER, W.M.; SCHUMANN, A.W.; WHITNEY, J.D.; BUCHANON, S. Variable rate applications of granular fertilizer for citrus test plots. **Applied Engineering in Agriculture**, St Joseph, v. 21, n. 5, p. 795-802, 2005.

MILLER, W.M.; WHITNEY, J.D.; SCHUMANN, A.W.; BUCHANON, S.A Test program to assess VRT granular fertilizer applications for citrus. In: 2003 ASABE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 2003, Las Vegas. **Anais...** Las Vegas: ASABE, 2001. Disponível em <<http://elibrary.asabe.org>>. Acesso em: 20 out. 2011

MISHRA, A.; EHSANI, R.; ALBRIGO, G.; LEE, W. S. Spectral characteristics of citrus greening (Huanglongbing). In: 2007 ASABE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 2007, Minneapolis. **Anais...** Mineapolis: ASABE, 2001. Disponível em <<http://elibrary.asabe.org>>. Acesso em: 20 out. 2011.

MISHRA, A.; KARIMI, D.; EHSANI, R.; ALBRIGO, L.G. Evaluation of an active optical sensor for detection of Huanglongbing (HLB) disease. **Biosystems Engineering**, London, v. 110, n. 3, p. 302-309, 2011.

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

MOLIN, J.P.; COLAÇO, A.F.; CARLOS, E.F. Orange yield and plant gap mapping caused by disease. In: EUROPIAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE,8., 2011. Praga. **Anais...** Praga: ISPA, 2011. 1 CD-ROM.

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

MOLIN, J.P.; MOTOMIYA, A.V. de A.; FRASSON, F.R.; FAULIN, G.D.C.; TOSTA, W. Test procedure for variable rate fertilizer on coffee. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringa, v. 32, n. 4, p. 569-575, 2010.

MORRIS, A.; MURARO, R. Economic evaluation of citrus greening management and control strategies. **University of Florida IFAS Extensions**, Gainesville, 2008. Disponível em : <<http://edis.ifas.ufl.edu>>. Acesso em: 6 set. 2008.

NAGELKERKE, N.J.D. A note on a general definition of the coefficient of determination. **Biometrika**, Oxford, v.78, n. 3, p. 691-692, 1991

NEVES, E.M.; DAYOUB, M.; DRAGONE, D.S.; NEVES, M.F. Citricultura Brasileira: Efeitos econômico-financeiros, 1996 - 2000. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 23, n. 2, p. 432-436, 2001.

NEVES, M.F.; TROMBIN, V.G.; MILAN, P.; LOPES, F.F.; CRESSONI, F.; KALAKI, R. **O retrato da citricultura brasileira**. MARKESTRAT: Centro de Pesquisa e Projetos em Marketing e Estratégia. 2010. 138p.

NEVES, M.F.; TROMBIN, V.G.; KALAKI, R.B.; LOPES, F.F. Competitiveness of the orange juice chain in Brazil. In: IFAMA 2012 FORUM & SYMPOSIUM, Shangai. **Anais...** Shangai: IFAMA, 2012. Disponível em: <<https://www.ifama.org>>. Acesso em: 17 set. 2012.

OKAMOTO, H.; LEE, W.S. Green citrus detection using hyperspectral imaging. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 66, p. 201-208, 2009.

OLIVEIRA, P.C.G.; FARIAS, P.R.S.; LIMA, H.V.; FERNANDES, A.R.; OLIVEIRA, F.A. PITA, J.D. Variabilidade espacial de propriedades químicas do solo e da produtividade de citros na Amazônia Oriental. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 91, p. 708-715, 2009.

OLIVER, M.A. An overview of geostatistics and precision agriculture. In:_____. **Geostatistical applications for precision agriculture**. Dordrecht: Springer, 2010. cap 1, p. 1-32.

PARAMASIVAM, S.; ALVA, A.K; FARES, A.; SAJWAN, K. S. Fate of nitrate and bromide in an unsaturated zone of a sandy soil under citrus production. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 31, p. 671-681, 2002.

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

PETERSON, D.L. Mechanical harvester for process oranges. **Applied Engineering in Agriculture**, St Joseph, v. 14, n. 5, p. 455 - 458, 1998.

PICAZO-TADEO, A.J.; REIG-MARTÍNEZ, E. Farmers' costs of environmental regulation: Reducing the consumption of nitrogen in citrus farming. **Economic Modelling**, Amsterdam, v. 24, n. 2, p. 312-328, 2007.

QUAGGIO, J.A.; MATTOS JR, D.; CANTARELLA, H.; ALMEIDA, E.L.E.; CARDOSO, S. A.B. Lemon yield and fruit quality affected by NPK fertilization. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 96, p. 151-162, 2002.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: IAC, 1997. 279p. (IAC. Boletim Técnico, 100).

ROBERTSON, M.J.; LYLE, G.; BOWDEN, J.W. Within-field variability of wheat yield and economic implications for spatially variable nutrient management. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 105, p. 211-220, 2008.

SANKARAN, S.; EHSANI, R. Visible-near infrared spectroscopy based citrus greening detection: Evaluation of spectral feature extraction techniques. **Crop Protection**, Amsterdam, v. 30, n. 11, p. 1508-1513, 2011.

SANKARAN, S.; EHSANI, R.; ETXEBERRIA, E. Mid-infrared spectroscopy for detection of Huanglongbing (greening) in citrus leaves. **Talanta**, Amsterdam, v. 83, n. 2, p. 574-81, 2010.

SANKARAN, S.; MISHRA, A.; EHSANI, R.; DAVIS, C. A review of advanced techniques for detecting plant diseases. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 72, n. 1, p. 1-13, 2010.

SANKARAN, S.; MISHRA, A.; MAJA, J.M.; EHSANI, R. Visible-near infrared spectroscopy for detection of Huanglongbing in citrus orchards. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 77, n. 2, p. 127-134, 2011.

SANTESTEBAN, L.G.; GUILLAUME, S.; ROYO, J.B.; TISSEYRE, B. Are precision agriculture tools and methods relevant at the whole-vineyard scale? **Precision Agriculture**, Secaucus, 2012. No prelo.

SCHUELLER, J.K.; WHITNEY, J.D.; WHEATON, T.; MILLER, W.M.; TURNER, A.E.A. Low-cost automatic yield mapping in hand-harvested citrus. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 23, p. 145-153, 1999.

SCHUMANN, A.W.; ZAMAN, Q.U. Software development for real-time ultrasonic mapping of tree canopy size. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 47, n. 1, p. 25-40, 2005.

SCHUMANN, A.W.; HOSTLER, K.; BUCHANON, S.; ZAMAN, Q. Relating citrus canopy size and yield to precision fertilization. **Proceedings of Florida State Horticultural Society**, Goldenrod, v. 119, p. 148-154, 2006.

SCHUMANN, A.W.; MILLER, W.M.; ZAMAN, Q.U. HOSTLER, K.H.; BUCHANON, 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, n. 1, p. 19-24, 2006.

SCHUMANN, A.W.; ZAMAN, Q.U. Nutrient management zones for citrus based on variation in soil properties and tree performance. **Precision Agriculture**, Secaucus, v. 7, n. 1, p. 45-63, 2006.

SEVIER, B.J.; LEE, W.S. Adoption trends and attitudes towards precision agriculture in Florida citrus : Preliminary results from a producer survey. In: 2003 ASABE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 2003, Las Vegas. **Anais...** Las Vegas: ASABE, 2001. Disponível em <<http://elibrary.asabe.org>>. Acesso em: 20 out. 2011.

SEVIER, B.J.; LEE, W.S. In: 2004 ASABE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 2004, Ottawa. **Anais...** Ottawa: ASABE, 2004. Disponível em: <<http://elibrary.asabe.org>>. Acesso em: 26 nov. 2011.

SEVIER, B.J.; LEE, W.S. Precision farming adoption by Florida citrus producers : Probit model analysis. **University of Florida IFAS Extensions**, Gainesville, 2005. Disponível em : <<http://edis.ifas.ufl.edu>>. Acesso em: 20 nov. 2011.

SILVA, F.M.; SOUZA, Z.M.D.; FIGUEIREDO, A.P.; VIEIRA, L.H.S.; OLIVEIRA, E. Variabilidade espacial de atributos químicos e produtividade da cultura do café em duas safras agrícolas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 1, p. 231-241, 2008.

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

TSCHIEDEL, M.; FERREIRA, M.F. Introdução à agricultura de precisão: conceitos e vantagens. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 1, p. 159-163, 2002.

TUMBO, S.D.; SALYANI, M.; WHITNEY, J.D.; WHEATON, T.A.; MILLER, W.M. Investigation of laser and ultrasonic ranging sensors for measurements of citrus canopy volume. **Applied Engineering in Agriculture**, St Joseph, v. 18, n. 3, p. 367-372, 2002a.

TUMBO, S.D.; SALYANI, M.; MILLER, W.M.; SWEEB, R.; BUCHANON, S. Evaluation of a variable rate controller for aldicarb application around buffer zones in citrus groves. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 56, p. 147-160, 2007.

TUMBO, S.D.; WHITNEY, J.D.; MILLER, W.M.; WHEATON, T.A. Development and testing of a citrus yield monitor. **Applied Engineering in Agriculture**, St Joseph, v. 18, n. 4, p. 399-403, 2002b.

WANG, D.; PRATO, T.; QIU, Z.; KITCHEN, N.R.; SUDDUTH, K. A. Economic and environmental evaluation of variable rate nitrogen and lime application for claypan soil fields. **Precision Agriculture**, Secaucus, v. 4, p. 35-52, 2003.

WEI, J.; SALYANI, M. Development of a laser scanner for measuring tree canopy characteristics: phase 1. Prototype development. **Transactions Of The Asabe**, St Joseph, v. 47, n. 6, p. 2101-2108, 2004.

WEI, J.; SALYANI, M. Development of a laser scanner for measuring tree canopy characteristics: Phase 2. Foliage density measurement. **Transactions Of The Asabe**, St Joseph, v. 48, n. 4, p. 1595-1602, 2005.

WHELAN, B.M.; MCBRATNEY, A.B. The ““ null hypothesis ”” of precision agriculture management. **Precision Agriculture**, Secaucus, v. 2, p. 265-279, 2000.

WHITNEY, J.D.; LING, Q.; MILLER, W.M.; WHEATON, T.A. A DGPS yield monitoring system for Florida citrus. **Applied Engineering in Agriculture**, St Joseph, v. 17, n. 2, p. 115-119, 2001.

WHITNEY, J.D.; MILLER, W.M.; WHEATON, T.A.; SALYANI, M.; SCHUELLER, J.K. Precision farming applications in Florida citrus. **Applied Engineering in Agriculture**, St Joseph, v. 15, n. 5, p. 399-403, 1999.

XIANG, Y.; JI-YUN, J.; PING, H.; MING-ZAO, L. Recent advances on the technologies to increase fertilizer use efficiency. **Agricultural Sciences in China**, Oxford, v. 7, n. 4, p. 469-479, 2008.

YANG, C.; EVERITT, J. H.; BRADFORD, J.M. Comparisons of uniform and variable rate nitrogen and phosphorus fertilizer applications for grain sorghum. **Transactions Of The Asabe**, St Joseph, v. 44, n. 2, p. 201-209, 2001.

ZAMAN, Q.U.; SALYANI, M. Effects of foliage density and ground speed on ultrasonic measurement of citrus tree volume. **Applied Engineering in Agriculture**, St Joseph, v. 20, n. 2, p. 173-178, 2004.

ZAMAN, Q.U.; SCHUMANN, A.W.; HOSTLER, H.K. Estimation of citrus fruit yield using ultrasonically-sensed tree size. **Applied Engineering in Agriculture**, St Joseph, v. 22, n. 1, p. 39-44, 2006.

ZAMAN, Q.U.; SCHUMANN, A.W.; MILLER, W.M. Variable rate nitrogen application in Florida citrus based on ultrasonically-sensed tree size. **Applied Engineering in Agriculture**, St Joseph, v. 21, n. 3, p. 331-336, 2005.

ZAMAN, Q.U.; SCHUMANN, A.W.; SHIBUSAWA, S. Impact of variable rate fertilization on nitrate leaching in a citrus orchard. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 8., Minneapolis. **Anais...** Minneapolis: ISPA, 2006. 1CD-ROM.

ZHANG, C.; KOVACS, J.M. The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: a review. **Precision Agriculture**, Secaucus, 2012. No prelo.

ZHANG, N.; WANG, M.; WANG, N. Precision agriculture - a worldwide overview. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 36, p. 113-132, 2002.

ANEXOS

ANEXO A – Semivariogramas dos teores foliares de N na área 1 de 2009 a 2012

ANEXO B – Semivariogramas dos teores foliares de N na área 2 de 2009 a 2012

ANEXO C – Semivariogramas dos teores de P no solo na área 1 de 2008 a 2012

ANEXO D – Semivariogramas dos teores de P no solo na área 2 de 2008 a 2012

ANEXO E – Semivariogramas dos teores de K no solo na área 1 de 2008 a 2012

ANEXO F – Semivariogramas dos teores de K no solo na área 2 de 2008 a 2012

ANEXO G – Semivariogramas dos níveis de V% no solo na área 1 de 2008 a 2012

ANEXO I – Semivariogramas dos níveis de V% no solo na área 2 de 2008 a 2012

ANEXO I – Semivariogramas dos dados de produtividade na área 1 de 2008 a 2012

ANEXO J – Semivariogramas dos dados de produtividade na área 2 de 2008 a 2012