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

Efeitos da adubação em doses variadas em pomares de laranja

Luis Gustavo Mendes

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

Piracicaba
2019

Luis Gustavo Mendes
Engenheiro Agrônomo e Licenciado em Ciências Agrárias

Efeitos da adubação em doses variadas em pomares de laranja
versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

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

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

Piracicaba
2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Mendes, Luis Gustavo

Efeitos da adubação em doses variadas em pomares de laranja / Luis Gustavo Mendes. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2019.

110 p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Aplicação em doses variadas 2. Atributos químicos do solo 3. Citricultura 4. Variabilidade espacial I. Título

DEDICATÓRIA

Aos meus pais João Luiz Mendes e Teresa Regina Bigaram Mendes, pela criação e paciência, por todo o amor, pelo grande exemplo de humildade, todo o apoio, companheirismo, por todos os ensinamentos e todas as alegrias, dedico.

AGRADECIMENTOS

À **Deus** primeiramente, por sempre me fazer acreditar que era capaz, por me manter no caminho correto e pelo auxílio nas tomadas de decisões enfrentadas durante esta caminhada. Por colocar em meu caminho pessoas com quem eu pude evoluir cada dia mais e por me auxiliar nos momentos mais difíceis.

À Gloriosa **Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (USP/ESALQ)**, por todas suas tradições, conhecimentos e oportunidades apresentadas durante a graduação e o mestrado. Certamente os ensinamentos aqui adquiridos serão transmitidos às mais diversas pessoas.

Ao Professor Dr. **José Paulo Molin** pela orientação neste trabalho e por todos os anos de convívio ao longo de minha formação pessoal e profissional. Pelo exemplo de profissionalismo, competência, amizade e dedicação durante todos esses anos.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

À todas as amigadas criadas dentro e fora da Universidade, em especial ao amigos da pós-graduação: **André Colaço (Napa)**, **Bruna Passalacqua**, **Cássio Duarte (Trimble)**, **Leonardo Maldaner (Tchê)**, **Lucas Corredo (Ratimum)**, **Marcelo Chan (Kunakina)**, **Mateus Eitelwein (Teló)**, **Maurício Martello (Martelo)**, **Pedro Henrique Santos (Pedrão)**, **Rodrigo Trevisan**, **Tatiana Canata (Tati)** e **Tiago Rodrigues (Cadinho)** por todos os ensinamentos, dificuldades e risadas que vivenciamos. Cada um de vocês me ensinou a ser uma pessoa mais dedicada e profissional.

Ao **Grupo de Mecanização em Agricultura de Precisão (gMAP)**, pelas risadas e auxílios recebidos nestes anos de convivência, por todo conhecimento construído na área de mecanização e agricultura de precisão.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia de Biossistemas, em especial ao **Aginaldo, Áureo, Chicão, Juarez e Zé Geraldo** pelo auxílio nas atividades de campo e coletas de dados.

Em especial, agradeço ao amigo **André Freitas Colaço** pelo início deste projeto e por me ensinar e transmitir grande parte dos conhecimentos necessários para chegar a conclusão deste trabalho.

À fazenda **Rio Pardo** pela cessão da área experimental, em especial ao **Acácio, Sérgio e Félix (Felinho)** pela ajuda nas coletas de dados e execução deste projeto.

Ao **Colégio COC Piracicaba**, especialmente aos diretores **Marta e Zago**, onde estudei todo o ensino fundamental e médio e a todos os professores e funcionários que me auxiliaram a chegar até aqui e sempre me apoiaram.

Aos amigos **Juninho, Luciano, André, Pilão e Eduardo Cunali** da John Deere concessionária Terraverde pelos ensinamentos no início da minha carreira na área de Agricultura de Precisão.

Aos meus avós **Antônio** (in memorian) e **Jandira, João** (in memorian) e **Iraci** pelos cuidados, carinho e afeto, por todos os momentos que passamos juntos e todos os exemplos transmitidos durante essa caminhada.

Ao meu irmão **Flávio** por todo o apoio e ensinamentos teóricos e técnicos durante a execução de meu projeto. Por todas as horas dispendidas seja durante o dia ou na madrugada para solução dos diversos problemas que enfrentei nesta jornada. E por me ajudar a ser uma pessoa melhor.

À minha querida **Sofia** por todo o apoio e confiança depositada em mim, pelas melhores risadas, conquistas e bons momentos vividos. Por ser minha melhor amiga nas horas difíceis e me auxiliar a superar qualquer adversidade. Por acreditar em todos os momentos na minha capacidade, deixo meus sinceros agradecimentos.

À meus tios, tias, primos e primas por todos os elogios, sugestões e ensinamentos recebidos.

E a todos aqueles que estiveram presentes em meu caminho e de alguma forma puderam contribuir para a execução deste projeto.

“Ao se caminhar para um objetivo, sobretudo um grande e distante objetivo, as menores coisas se tornam fundamentais. Uma hora perdida é uma hora perdida, e quando não se tem um rumo definido é muito fácil perder horas, dias ou anos, sem se dar conta disso”

AMYR KLINK (Livro: 100 dias entre céu e mar)

SUMÁRIO

RESUMO	8
ABSTRACT	9
LISTA DE FIGURAS	10
LISTA DE TABELAS	11
1. INTRODUÇÃO	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1. A IMPORTÂNCIA DA LARANJA	15
2.2. AGRICULTURA DE PRECISÃO	16
2.3. TECNOLOGIAS DE AGRICULTURA DE PRECISÃO	17
3. MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1. CARACTERIZAÇÃO DO EXPERIMENTO	20
3.2. AMOSTRAGEM DE SOLO	22
3.3. ANÁLISE DOS DADOS E GEOESTATÍSTICA	24
3.4. MAPEAMENTO DA PRODUTIVIDADE	24
3.5. TRATAMENTO EM DOSES VARIADAS (DV)	26
3.6. TRATAMENTO EM DOSES FIXAS (DF)	29
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
4.1. GEOESTATÍSTICA	30
4.2. CONDUTIVIDADE ELÉTRICA, ALTIMETRIA E TEXTURA DAS ÁREAS	44
4.3. CONSUMO DE INSUMOS	45
4.4. TEORES DE NUTRIENTES NOS SOLOS	48
4.5. PRODUTIVIDADE	57
4.6. EFICIÊNCIA DOS INSUMOS	64
4.7. AVALIAÇÃO GERAL	65
5. CONCLUSÃO	67
REFERÊNCIAS	68
APÊNDICES	72

RESUMO

Efeitos da adubação em doses variadas em pomares de laranja

Com as novas tecnologias de produção visando maiores lucratividades e sustentabilidade, as técnicas e ferramentas da agricultura de precisão (AP) vêm sendo avaliadas pelos produtores na gestão de pomares comerciais de citros. A AP leva em consideração a desuniformidade das lavouras, tentando buscar soluções e ferramentas para melhor explorar tais variabilidades. As técnicas propostas se baseiam na variabilidade espacial existente no campo e em ações de manejo implementadas de forma localizada, em taxa variável, ou seja, de acordo com a demanda local pelos insumos. Já existem metodologias para confecção de mapas de produtividade em citros, um dos passos essenciais para o início da implantação da AP nas propriedades, e assim, o possível processamento dos dados e aplicação de fertilizantes e corretivos em taxas variadas. O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos de aplicações em taxa fixa e variável sobre a produtividade e os parâmetros de fertilidade do solo bem como sobre o consumo de fertilizantes e calcário em talhões de citros em larga escala (ao longo de sete safras). O estudo foi conduzido durante sete anos, de 2011 a 2017 e englobou áreas experimentais em pomares que se localizam na fazenda Rio Pardo, município de Iaras – SP (22°57'03,5"S; 48°39'37,4"W) e consistiam em dez talhões de aproximadamente 25 hectares implantados em 2008 e 2009. Cinco talhões foram conduzidos utilizando o tratamento “Dose fixa” (DF) e cinco “Dose variável” (DV). O processamento dos dados consistia na realização da análise exploratória inicial, filtragens e limpezas, análises geoestatísticas, interpolações e recomendações dos insumos. No tratamento DF, os insumos foram aplicados seguindo a metodologia convencional de adubação, uma amostra de solo e folha era retirada de cada talhão e com base na expectativa de produção, a necessidade de insumos era calculada. No tratamento DV, as amostragens eram georreferenciadas e realizadas a cada um hectare. As recomendações de fósforo, potássio, calcário e nitrogênio foram calculadas com base nos mapas de produtividade do ano anterior e com os resultados laboratoriais das amostragens. As aplicações de P, K e N do tratamento DV não foram reduzidas quando comparadas às aplicações do tratamento DF, porém as aplicações em doses variadas apresentaram maiores eficiências na aplicação. Os valores médios de P e K nos solos se diferiram estatisticamente somente nos anos de 2013/14 e 2014/15, sendo maiores no tratamento DV. A produtividade no tratamento DV foi maior quando comparada ao tratamento DF e nas comparações entre os anos, em quatro safras o tratamento DV apresentou maiores produtividades, chegando a aumentos de 26% de produção de frutas e cerca de 2,74 t ha⁻¹ na média nos seis anos avaliados.

Palavras-chave: Aplicação em doses variadas; Atributos químicos do solo; Citricultura; Variabilidade espacial

ABSTRACT

Effects of fertilization in varied rates on orange fields

With all the new and advance in production technologies, that aims for a greater profitability and sustainability, techniques and tools used in precision agriculture (PA) are starting to be evaluated by the producers in the management of citrus commercial fields. PA considers the unequal nature of the crops, willing to find solutions and procedures to exploit such variabilities with better results. The proposed techniques are based on spatial variability in the field and on management actions implemented locally, at varied rates, in other words, according to local demand for inputs. It is known that already exists some methodologies for making and developing maps of citrus productivity, one of the essential procedures of the implantation of PA in properties, and thus, the possible processing of data and application of fertilizers and correctives in varied rates. The objective of this paper was to evaluate the effects of fixed and variable rate applications on productivity and soil fertility parameters as well as on fertilizer and limestone consumption in large-scale citrus stands (over seven harvests). The study was developed for seven years, from 2011 to 2017 in experimental areas within orchards located in the Rio Pardo farm, in the municipality of Iaras - SP (22°57'03.5 "S; 48°39'37.4" W) and consisted of ten plots of approximately 25 hectares established in 2008 and 2009. Five plots were conducted using the "Fixed-rates" (DF) and five "variable rates" (DV) treatments. The data processing procedure consisted of performing the initial exploratory analysis, filtering and cleaning data, geostatistical analysis, interpolations and recommendations of the inputs. In the DF treatment, the inputs were applied according to the conventional fertilization methodology, a soil and leaf sample was with drawn from each plot and, based on the expected production, the input requirement was calculated. In the DV treatment, the samplings were georeferenced and carried out to each hectare. The recommendations for phosphorus, potassium, limestone, and nitrogen were calculated based on the previous year's productivity maps and the laboratory results of the samplings. The applications of P, K, and N of the DV treatment were not reduced when compared to the applications of DF treatment, but the applications in varied rates presented better efficiencies in the application. The medium values of P and K in soils differed statistically only in the years 2013/14 and 2014/15 and were higher in DV treatment. The productivity in the DV treatment was higher when compared to the treatment DF and in the comparisons between the years, in four harvests the DV treatment presented higher productivities, presenting increases of 26% of fruit production and around 2.74 t ha⁻¹ on average in the six years evaluated.

Keywords: Application in variable rate; Chemical attributes of the soil; Citriculture; Spatial variability

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1 - Croqui do experimento com os dez talhões.</i>	20
<i>Figura 2 - Nomenclatura dos tratamentos.</i>	21
<i>Figura 3 - Croqui indicando a posição das amostras de solo na área experimental, com 1 amostra ha⁻¹.</i>	22
<i>Figura 4 - Coleta de amostras de solo na área experimental.</i>	23
<i>Figura 5 - Dados brutos utilizados para confecção dos mapas de produtividade mostrando os pontos referentes aos sacolões; exemplo da colheita da safra 2016/2017</i>	25
<i>Figura 6 - Criação dos polígonos de Voronoi, extração dos centróides e coordenadas de cada polígono.</i>	25
<i>Figura 7 - Valores de recomendação de P₂O₅ em função da produtividade esperada e do teor do nutriente no solo; Colaço e Molin (2016).</i>	27
<i>Figura 8 - Fluxograma de processamento dos dados para confecção dos mapas e aplicação no tratamento DV.</i>	29
<i>Figura 9 - Mapa de altimetria da área experimental (A), mapa de textura do solo (B) e mapa de condutividade elétrica aparente do solo na camada 0 - 0,3m (C).</i>	45
<i>Figura 10 - Quantidades médias totais de insumos aplicados nos tratamentos DF e DV durante seis anos e diferenças das quantidades aplicadas no tratamento DV em comparação ao DF.</i>	48
<i>Figura 11 - Teores médios de P, K e V% nos tratamentos e diferenças na quantidade média no DV em relação ao DF.</i>	50
<i>Figura 12 - Mapas de teores de fósforo no solo nos talhões do experimento.</i>	52
<i>Figura 13 - Percentual das áreas classificadas como teores “muito baixo”, “baixo”, “médio” e “alto” para os níveis de P no solo nos tratamentos DF e DV.</i>	53
<i>Figura 14 - Mapas de teores de potássio no solo nos talhões do experimento.</i>	54
<i>Figura 15 - Percentual das áreas classificadas como teores “muito baixo”, “baixo”, “médio” e “alto” para os níveis de K no solo nos tratamentos DF e DV.</i>	55
<i>Figura 16 - Mapas de teores de V% no solo nos talhões do experimento.</i>	56
<i>Figura 17 - Percentual das áreas classificadas como teores “muito baixo”, “baixo”, “médio” e “alto” para os níveis de V% no solo nos tratamentos DF e DV.</i>	57
<i>Figura 18 - Mapas de produtividade em relação à média de cada talhão dos anos de 2012/13 a 2017/18.</i>	62
<i>Figura 19 - Média dos mapas de produtividade em relação à média dos anos de 2012/13 a 2017/18</i>	63
<i>Figura 20 - Mapa do coeficiente de variação dos mapas de produtividade em relação à média dos anos de 2012/13 a 2017/18.</i>	63
<i>Figura 21 - Precipitação na fazenda durante os anos do experimento.</i>	64
<i>Figura 22 - Eficiência do uso de fertilizantes e corretivos nos tratamentos.</i>	65

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1 - Especificações dos talhões com variedades dos pés de laranja e seus respectivos porta enxertos</i>	<i>21</i>
<i>Tabela 2 - Cronograma de atividades realizadas anualmente, a cada ciclo produtivo, tanto para o tratamento DV quanto DF.</i>	<i>22</i>
<i>Tabela 3 - Tabela de classes de nutrientes nos solos para a cultura da laranja.....</i>	<i>23</i>
<i>Tabela 4 - Recomendação de adubação segundo análises foliares e de solo e classes de produção.....</i>	<i>26</i>
<i>Tabela 5 - Parâmetros geoestatísticos dos modelos ajustados dos semivariogramas de P, K e V% dos talhões. .</i>	<i>31</i>
<i>Tabela 6 - Parâmetros geoestatísticos dos modelos ajustados dos semivariogramas de produtividade nos talhões.</i>	<i>41</i>
<i>Tabela 7 - Estatística descritiva das aplicações médias dos insumos nos talhões DF e DV.</i>	<i>46</i>
<i>Tabela 8 - Estatística descritiva dos teores médios no solo de P, K e V% nos talhões DF e DV do experimento....</i>	<i>49</i>
<i>Tabela 9 – Estatística descritiva e análise de médias dos dados de produtividade de 2012/13 a 2017/18 no experimento da fazenda Rio Pardo.</i>	<i>58</i>

1. INTRODUÇÃO

A citricultura tem papel de destaque no panorama nacional e internacional. O Brasil é o maior exportador de suco de laranja concentrado do mundo. Segundo Neves (2010) o setor é responsável por gerar mais de 200 mil empregos diretos e indiretos em centenas de empresas e propriedades no Brasil, possui uma área cultivada de aproximadamente 400 mil hectares, porém apresenta alguns problemas como flutuação dos custos de produção, além de baixas produtividades, quando comparado com países como os EUA.

A agricultura de precisão (AP) é uma forma de gestão diferenciada, que leva em consideração a aplicação de insumos em doses variadas no campo, segundo o que cada porção do talhão necessita, com bases em mapas de produtividade e teores de nutrientes encontrados nos solos. Técnicas e tecnologias que apresentem otimização do uso dos insumos, sustentabilidade e eficiência no manejo produtivo, são apontadas como possíveis soluções para a manutenção competitiva do setor.

As aplicações de insumos em citros no Brasil baseiam-se em recomendações de décadas passadas, e a aplicação pela média ainda aparece como principal forma de gestão na maioria das propriedades citrícolas do país. Já a AP é um conceito bastante conhecido e adotado pelos produtores de grãos, contudo, nas culturas perenes como a citricultura, a adoção destas tecnologias ainda é baixa. Estudos mostram que os pomares apresentam variabilidade de produção entre plantas e nos teores de nutrientes dos solos, o que justifica a aplicação em doses variadas. Em países como os EUA e a Espanha, o tratamento planta a planta em doses variadas, de acordo com as necessidades locais, estão sendo utilizados para distribuição de insumos de uma maneira mais racional, além de possibilitar a redução dos custos e aumentar a sustentabilidade do sistema.

Molin e Mascarin (2007) descrevem uma metodologia de georreferenciamento dos sacolões disposto no campo durante a colheita. Os pontos georreferenciados são transferidos para um software de sistema de informação geográfica (SIG) e processados para obter o mapa de produtividade. Essa metodologia permite a geração de mapas de produtividade dos talhões, um dos passos iniciais para as práticas de AP nas propriedades. Porém, para a implementação de práticas de AP, são necessários equipamentos dedicados para aquisição de dados e profissionais qualificados para analisar, interpretar esses dados, e tomar decisões assertivas frente às variabilidades encontradas nos talhões.

Informações a respeito de produtividade e características de solo e planta são muito importantes na adoção de práticas de AP nas fazendas citrícolas. Entretanto, poucos trabalhos foram realizados no Brasil avaliando o efeito das tecnologias frente a fatores como produtividade, níveis de teores de nutrientes nos solos e consumos totais de insumos aplicados em larga escala a longo prazo em citricultura. Devido à falta de conhecimento, estudos e metodologias experimentais apropriadas, a adoção dessas práticas em escala comercial ainda é pouco expressiva no mercado nacional.

Um dos poucos trabalhos já realizados em citros no Brasil (COLAÇO e MOLIN, 2017), demonstrou, ao longo de seis anos, que as aplicações em doses variadas quando comparadas com as aplicações tradicionais apresentaram redução significativa do consumo de insumos, expressando que é possível a racionalização desses insumos, otimizando a sua distribuição na lavoura com base nas demandas. Além destes fatores, o tratamento em doses variadas aumentou a produtividade e resultou em maior eficiência agrônômica dos fertilizantes N, P e K no campo conduzido com AP.

Algumas hipóteses podem ser testadas em relação à aplicação de tecnologias de AP nas propriedades citrícolas. Com a utilização de aplicação em doses variadas de N, P, K e calcário, espera-se que esse tratamento possa otimizar o uso de insumos, melhorar a fertilidade dos solos, minimizando excessos ou deficiências de nutrientes nos talhões, além de aumentar a produtividade, uma vez que se utiliza a gestão localizada de insumos.

Dessa maneira, o objetivo deste trabalho foi avaliar a aplicação de insumos N, P, K e calcário em doses variadas e doses fixas na cultura da laranja, avaliar a produtividade, fertilidade do solo e consumo de nutrientes em talhões de citros em larga escala (ao longo de sete safras).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. A importância da laranja

A laranjeira (*Citrus sinensis* L.) é uma árvore perene da família Rutaceae e gênero Citrus, oriunda de regiões entre a Índia e sudeste do Himalaia. Originárias de regiões tropicais e subtropicais da Ásia e do arquipélago Malaio, as espécies de *Citrus* chegaram às Américas no final do século XV, sendo que sua produção ganhou destaque a partir da segunda metade do século XIX (NEVES, 2010). Cultivada em ampla faixa geográfica compreendida entre as latitudes 40° nos hemisférios Norte e Sul, a citricultura é detentora de um importante papel na agroindústria, presente em centenas de países produtores em mais de sete milhões de hectares cultivados (SOBRINHO et al., 2013). Na safra de 2017/18 o Brasil produziu cerca de 17,3 milhões de toneladas de frutos, com uma área cultivada de aproximadamente 400 mil hectares; grande parte exportada como suco concentrado, chegando a 66% do suco do mundo (USDA, 2018).

Segundo Neves (2010) o setor é responsável por gerar mais de 200 mil empregos diretos e indiretos em centenas de empresas e propriedades no Brasil. A cultura está presente em mais de 3.000 municípios do Brasil, concentrando-se no Estado de São Paulo, responsável por cerca de 80% da produção nacional, especialmente devido à instalação das indústrias de processamento de suco de laranja concentrado. Com a crescente demanda do mercado externo pela fruta e expansão da área cultivada, a região tornou-se o maior parque citrícola do mundo (BOTEON, 2012). Segundo Neves et al. (2010) o Brasil possui uma boa eficiência na cadeia citrícola, com zonas portuárias equipadas e navios específicos para transporte de suco de laranja concentrado, caminhões tanque e sistemas integrados.

Os EUA, outro importante produtor da fruta, especialmente no Estado da Flórida, local onde o destino principal da fruta também é a indústria de processamento, é o segundo maior produtor de suco concentrado, ficando atrás apenas do Brasil. Juntos, EUA e Brasil, chegam a representar 78,9% da produção de suco concentrado mundial (USDA, 2018).

A cadeia citrícola brasileira é de grande importância na economia nacional, e a exportação do suco e da fruta *in natura* sustentam um complexo produtivo que está concentrado nas indústrias de processamento. Além de estarem atrelados aos preços internacionais desta commodity, Belik; Paulillo; Vian, (2012) afirmaram que com o monopólio da cadeia citrícola nas mãos de poucas empresas, além da integração vertical do setor, os preços praticados e repassados aos produtores acabam sendo menores, o que gera desequilíbrios entre os custos de produção e os valores recebidos pelos produtores.

A produção global de suco de laranja da safra 2017/18 sofreu queda, uma vez que o clima desfavorável levou a menores colheitas no Brasil, nos EUA e na UE. O consumo da fruta também caiu, caracterizando um cenário de queda dos preços (USDA, 2018). Um dos principais motivos da queda de produção brasileira, além dos fatores climáticos e dos baixos preços, foi a maior incidência de *greening* nas propriedades, doença que leva a erradicação das plantas e ocorre geralmente com maior incidência nos pequenos e médios agricultores (FUNDECITRUS, 2018). Bové (2006) relata que em 2004 e 2005 no Brasil e na Flórida foram encontrados os primeiros sintomas do *huanglongbing* (HLB), comumente conhecida como *greening*. Segundo Gottwald et al. (2007), o *greening* é a doença mais severa e devastadora da citricultura mundial, uma vez que não existem tratamentos curativos para tal. Belasque Junior et al. (2009) afirmam que o controle da doença pode ser realizado com a utilização de mudas sadias, remoção e eliminação de plantas infectadas e controle do inseto vetor da doença, o psíldeo. Frente às frequências cada vez maiores de incidência nas lavouras, a presença do *greening* acaba limitando as produtividades das culturas (BASSANEZI et al., 2011), além da doença acarretar em maiores custos de produção. O aumento das pulverizações, erradicação das plantas

infectadas e replantio de mudas, fez com que os custos de controle da doença aumentassem em 41%, em estudo realizado por Morris e Muraro (2008).

As pressões exigidas pelos mercados nacional e internacional têm implicado em mudanças, a fim de tornar o agronegócio mais competitivo frente à busca de maiores eficiências produtivas (MILOCA et al, 2005). O agronegócio tem se tornado mais tecnificado e mais organizado, representando um desafio ao pequeno produtor (ZULIAN et al. 2013). Boteon e Pagliuca (2010) relatam que a produção citrícola possui como maior risco a instabilidade econômica e fitossanitária, além do aumento do custo de produção, valorização da terra e aumento do custo de oportunidade. Franco (2012) cita que além das barreiras tarifárias de exportação dos produtos citrícolas, o setor enfrenta exigências fitossanitárias e técnicas dos países importadores, o que acaba encarecendo ainda mais o preço final dos produtos.

Frente a estes fatores fica evidente que os produtores devam adaptar seus modelos de gestão, a fim de produzir as frutas de uma maneira mais sustentável e com maior eficiência produtiva na cadeia citrícola.

2.2. Agricultura de Precisão

A AP é uma forma de gestão que leva em conta a variabilidade espacial das lavouras (MOLIN et al., 2015). Para Whelan e McBratney (2000), a AP visa adequar a aplicação dos insumos e gestão das atividades agronômicas de acordo com as necessidades das culturas, seguindo as variações destes atributos no tempo e espaço. Uma vez que os talhões não são homogêneos, torna-se necessário práticas de gestão diferenciadas para o melhor aproveitamento de cada porção da lavoura. Balastreire (1998) afirma que todo agricultor tem conhecimento de que sua propriedade tem variabilidade espacial em relação aos nutrientes, compactação, ervas daninhas, umidade do solo, drenagem, etc. Frente a tal informação, deve-se buscar soluções que otimizem a utilização dos insumos e melhorem as eficiências produtivas. As propriedades possuem variações naturais reconhecidas e manejadas manualmente dentro de seus campos de produção há séculos (WANG et al., 2003). Goering (1993) encontrou relatos de primeiras iniciativas para o gerenciamento localizado nas culturas no ano de 1929, descritos por C. M. Linsley e F. C. Bauer na circular de número 346 da Estação Experimental Agrícola da Universidade de Illinois. Segundo Molin et al. (2015) existem relatos de trabalhos com gestão detalhada das lavouras desde o início do século XX. Porém, segundo os autores, tal prática foi se intensificando nos anos 1980 na Europa, com a geração dos primeiros mapas de produtividade, e nos EUA, onde foram realizadas de forma automatizada as primeiras adubações em doses variadas.

Muitas tecnologias auxiliam na prática da AP, Colvin et al. (1996) relataram que algumas dessas tecnologias começaram a aparecer no ano de 1989, quando o Sistema de Posicionamento Global, o GPS, passou a ser liberado para uso civil de forma ilimitada, o que possibilitou o crescimento das coletas de informações espacializadas (MOLIN, 2001). Em 2000, o governo norte americano eliminou um erro proposital no sinal de GPS, o que fez com que as tecnologias de AP se popularizassem ainda mais, uma vez que, antes disso, correções diferenciais eram necessárias àqueles que utilizavam o sinal de GPS. Com a eliminação do ruído, os equipamentos de AP ficaram mais baratos, o que auxiliou no aumento da sua utilização (MOLIN et al., 2015).

Grandes mudanças estão ocorrendo no agronegócio mundial e é imprescindível a constante inovação no modo de realização dos serviços prestados, bem como na otimização de equipamentos, visando maior qualidade e lucro. A AP possibilita que os agricultores produzam de forma mais eficiente, melhorando a sustentabilidade destas atividades (QUEIRÓS et al., 2014). Algumas práticas ligadas à AP, segundo Koch e Khosla (2003), são o mapeamento da produtividade, amostragem georreferenciada de parâmetros de solo e planta e a aplicação de insumos localizados e em doses variadas. Ferramentas como sensoriamento direto e remoto também podem ser utilizados para geração de mapas

que indiquem a variabilidade presente na área (GODWIN; MILLER, 2003). Junto a estas tecnologias, os Sistemas de Informação Geográficas (SIG), automações agrícolas, geoestatística, entre outras ferramentas, auxiliam os usuários no estudo da variabilidade presente nas áreas (COLAÇO, 2012).

A grande maioria das propriedades agrícolas no Brasil tratam as áreas como se fossem homogêneas, praticando uma agricultura pela média na aplicação dos insumos. Na maioria dos casos tem-se aplicações errôneas de insumos nas propriedades, o que acaba gerando desuniformidade nas lavouras. Molin et al. (2015) afirmam que as práticas de AP contribuem para o aumento da produtividade, pois tratam as áreas como sendo heterogêneas, além de fazer uso de tecnologias que auxiliam no melhor aproveitamento da área, permitindo a redução nos custos da produção.

Molin et al. (2010) observaram, além de ganhos em produtividade, redução do consumos de adubos fosfatados e potássicos em estudo utilizando taxas variáveis na cultura do café. Da mesma maneira, em estudo na cultura do trigo, Robertson, Lyle e Bowden (2008) encontraram ganhos em simulações que testaram aplicações de insumos em doses variadas comparadas às tradicionais. Em revisão de trabalhos publicados entre 1988 e 2005 Griffin e Lowenberg-DeBoer (2005) reportam que em estudos realizados a respeito das tecnologias de aplicações em doses variadas comparadas às tradicionais, em 68% dos casos, as tecnologias de AP mostraram-se mais rentáveis às aplicações pela média.

A racionalização dos insumos, ou melhora na sua eficiência produtiva, é uma máxima da AP. Uma vez que se tem a aplicação de insumos, onde eles são realmente necessários, evitam-se gastos desnecessários com adubos ou agroquímicos, que são responsáveis por uma fatia expressiva na composição dos custos de produção nas fazendas, e seus excessos comprometem as questões ambientais. Uma forma de gestão que propicia utilização eficiente de insumos é a aplicação em doses variadas e pode ser uma solução para tornar a citricultura brasileira mais competitiva frente à citricultura mundial (COLAÇO e MOLIN, 2017).

2.3. Tecnologias de Agricultura de Precisão

Há muito tempo, já se reconhece que as lavouras não são uniformes e os produtores vem tomando medidas como mudanças nas drenagens das áreas, alterações de nutrição das plantas, etc (NIELSEN; BOUMA, 1984; CARR et al., 1991). Porém, com os aumentos em escala, bem como nas áreas produtivas, os talhões começaram a ser tratados pela média, sem a devida atenção às variabilidades. Estudos e pesquisas vem avançando para conseguir documentar ou levantar informações para responder às variabilidades presentes (WHITNEY, 1999) e as tecnologias de GPS e SIG, além das inovações em eletrônica embarcada nas máquinas, estão buscando explorar tal abordagem de gestão.

As tecnologias de AP na citricultura tiveram início em trabalho realizado por Whitney et al. (1999) e se diferenciavam dos demais estudos, principalmente por tratar uma única planta como unidade de gestão. Os autores deram início à linha de pesquisa que se desenvolveu na Flórida, EUA, o maior produtor citrícola da América do Norte. Dentre as principais linhas de pesquisa surgiu a necessidade do mapeamento da produtividade dos frutos, altura e volume das plantas, além de desenvolver tecnologias potenciais do uso de GPS e SIG para aplicações de insumos em doses variadas.

Segundo Molin et al. (2015) os mapas de produtividade são importantes fontes de informação para o estudo da variabilidade presente nas áreas, e a estimativa da média produzida dentro de um talhão não é suficiente quando se aplica conceitos de AP, sendo necessária a gestão localizada da produção. Colaço (2012) cita que a maioria das colheitas realizadas em laranja ocorrem utilizando mão de obra manual, tanto nos EUA como no Brasil, sendo que na Flórida, os frutos colhidos são colocados em contêineres rígidos com capacidade de 400 kg, enquanto no Brasil os mais

utilizados são os sacolões de aproximadamente 500 kg. Posteriormente uma máquina carregadora faz o depósito destes contêineres ou sacolões em um caminhão, que levará o produto para o próximo destino, seja comercialização ou indústria de processamento. Nesse contexto, os primeiros mapeamentos de produtividade para culturas citrícolas foram relatadas por Whitney et al. (1999) nos EUA e na Austrália.

As pesquisas seguintes fizeram diversas propostas de monitores de produtividade para citricultura com o intuito da criação de mapas para prática de AP nas propriedades. Schueller et al. (1999), Whitney et al. (2001) e Tumbo et al. (2002b) propuseram monitores de colheita, utilizando receptores GPS para georreferenciar cada contêiner antes da etapa de carregamento. Estes dados coletados eram processados para o cálculo da produtividade, de acordo com a densidade dos pontos nas áreas. Molin e Mascarin (2007) adaptaram desta metodologia algo semelhante para o Brasil e consistia em georreferenciar os sacolões com o auxílio de um GPS de navegação e associar suas coordenadas aos volumes estimados pelos líderes da equipe de colheita. De acordo com esse trabalho, era realizado o cálculo da área de representação de cada sacolão. Posteriormente os dados eram interpolados e os mapas de produtividade eram confeccionados. Segundo os autores, esse tipo de metodologia é de fácil implantação e não interfere no processo convencional de colheita, sendo uma maneira eficaz de criação de mapas de produtividade para a cultura da laranja.

Kane e Lee (2007) e Okamoto e Lee (2009) realizaram experimentos para mapeamento de frutas com sensores multispectrais, a fim de conseguir reconhecer os frutos ainda verdes nos pés e antecipar o levantamento de dados antes da realização da colheita, com nível de acurácia de 89%. Monitores de produtividade acoplados às colhedoras também foram desenvolvidos. Chinchuluum, Lee e Ehsani (2007) realizaram um estudo com um monitor de produtividade que realiza medições de diâmetros dos frutos do elevador da colhedora por meio do processamento de imagens e correlaciona com o peso real dos frutos. Maja e Ehsani (2010) apresentam resultados positivos com a instrumentação de uma placa de impacto para estimativa do peso dos frutos no elevador da máquina, o erro de campo encontrado no experimento dos autores apresentou valor de aproximadamente 8% de diferença entre o peso estimado e o peso real dos frutos.

Metodologias de contagem de frutos por meio de sensores também estão sendo avaliadas atualmente. Grift et al. (2006) testaram a realização da contagem de frutos utilizando sensor a laser, com resultados positivos para o potencial desta tecnologia em monitores de produtividade futuros.

Molin et al. (2015) relatam sobre três principais usos dos mapas de produtividade. O primeiro deles seria a compreensão das relações causa e efeito, o segundo, a reposição de nutrientes aplicados em doses variadas baseados nas exportações das culturas, e o terceiro seria o auxílio às delimitações de regiões com produtividades marcadamente contrastantes.

A citricultura mundial demanda a aplicação de grandes quantidades de insumos, a maioria deles derivados de combustíveis fósseis (COLAÇO, 2016), então, tecnologias que possibilitem a otimização dos insumos e consequentemente maior sustentabilidade do sistema produtivo devem ser levadas em consideração e utilizadas dentro das propriedades. A AP na citricultura está principalmente embasada em tecnologias que utilizam aplicações em doses variadas com base em dados obtidos por amostragens e sensores, visando ao mapeamento da variabilidade do solo (SEVIER; LEE, 2003). Uma vez que as variabilidades estão presentes nas lavouras, principalmente nas propriedades do solo (OLIVEIRA et al., 2009), a aplicação de insumos em doses variadas, usando mapas de prescrição provém benefícios frente à utilização das metodologias tradicionais empregadas nas culturas citrícolas.

Em estudos na Flórida, Sevier e Lee (2003) encontraram que a tecnologia de taxa variada em citros tornou-se mais utilizada devido à possibilidade de conseguir manejar planta a planta dentro do sistema produtivo, explorando suas variabilidades, principalmente quanto ao volume de copa em aplicações de fertilizantes segundo o que cada planta

necessita. Os pomares da Flórida não são constantemente renovados, o que ocorre com pomares brasileiros. Na Flórida, o que se tem é o replantio de mudas devido ao ataque de pragas e doenças, resultando em plantas com idades variadas dentro do mesmo talhão, com a consequente variabilidade na demanda das doses de insumos (ZAMAN; SCHUMANN; MILLER, 2005). As aplicações uniformes acabam não otimizando os insumos, pois aplicam quantidades iguais de insumos e a necessidade de cada planta não segue essa tendência, uma vez que plantas com idades e volumes de copas diferentes exigirão também quantidades de insumos correspondentes a seus estádios de desenvolvimento. No Brasil, as práticas de AP que vêm sendo adotadas nas propriedades, predominam pelo gerenciamento das aplicações de fertilizantes e corretivos, visando à utilização eficiente dos recursos e insumos disponíveis. Tal como em outras lavouras, culturas perenes como a citricultura e cafeicultura estão utilizando práticas de AP, especialmente a aplicação de insumos e fertilizantes em doses variadas, principalmente de calcário, gesso, fósforo e potássio, com base em amostragens georrefenciadas (MOLIN et al., 2015).

Farias et al. (2003) encontraram diferenças na variabilidade espacial de pomares no estado de São Paulo, com área experimental de 15 a 20 ha. Parise e Vettorazzi (2005) encontraram variabilidade de dez classes produtivas estudando um pomar na região de Araras, SP, de 5 ha. Oliveira et al. (2009) verificaram produtividade variando de 11 a 80 kg planta⁻¹.

Em mesma área experimental, Leão et al. (2010) e Siqueira, Marques Jr. e Pereira (2010) encontraram variabilidade de frutos e de parâmetros de solo em área de cerca de 90 ha. Os talhões do experimento apresentaram correlação do relevo com os parâmetros analisados, o que acarretava nas variações observadas. O primeiro trabalho de aplicação de fertilizantes e corretivos em doses variadas na cultura da laranja foi realizado por Lopes (2010). O autor comparou a aplicação convencional com a aplicação em doses variadas em pomares comerciais ao longo de duas safras de produção. Cada pomar possuía 25 ha, e o autor encontrou redução no uso de insumos de 230 kg ha⁻¹ de nitrogênio, 5 kg ha⁻¹ de fósforo e 257 kg ha⁻¹ em média nos dois talhões manejados com doses variadas ao longo de dois anos de estudo, apresentando a variabilidade dos atributos de solo, folhas e produtividade na cultura dos citros. O autor ainda relata a respeito das produtividades encontradas no experimento, que se mantiveram mais homogêneas nos talhões que receberam tratamento com doses variadas.

A continuidade daquele estudo é reportado por Colaço e Molin (2016), que encontraram significativa redução no consumo dos adubos nitrogenados e potássicos quando comparado o tratamento em taxa variável com o tratamento convencional, chegando a economias de 51% e 41%, respectivamente. A produtividade em um dos talhões avaliados aumentou 13,1%, porém na outra área, em dois dos quatro anos, a produtividade foi prejudicada no tratamento localizado. Zaman et al. (2005) em trabalho realizado apresentaram economia de 40% de nitrogênio por meio da utilização de tecnologias de taxa variável, utilizando mapas de prescrição de tamanho de copa na cultura da laranja.

Para a cultura do café, Molin et al., (2010) encontraram redução de 23% em fertilizantes fosfatados e 13% em fertilizantes potássicos quando comparados os tratamentos em doses variadas com os convencionais.

Quaggio et al. (2002) relatam que devido à citricultura ser uma cultura perene, algumas respostas à gestão de adubações podem aparecer em longo prazo, e com isso, a nutrição eficiente das plantas, teores adequados de nutrientes no solo, qualidade dos frutos, além de outros fatores demandam maiores períodos de estudos para se evidenciar conclusões quanto à eficácia do método adotado. Frente a tal informação, fica evidente a necessidade de maiores estudos quanto ao potencial de aplicação dos conceitos de AP nas propriedades citrícolas por períodos mais longos, uma vez que, dessa forma, quesitos como o comportamento dos pomares ao longo do tempo possam expressar diferentes resultados.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização do experimento

O estudo engloba áreas experimentais em pomares não irrigados, localizados na fazenda Rio Pardo, município de Iaras, SP (22°57'03,5"S; 48°39'37,4"W) e consistiu em dez talhões de aproximadamente 25 ha cada. Os talhões são relativamente semelhantes quanto às variedades de copa, porta enxerto, espaçamento e idade e foram implantados em 2008 e 2009, conforme apresentado na Tabela 1 e o croqui da Figura 2. O espaçamento entre fileiras é de 6,8 m e entre plantas de 2,6m e 2,8m. O tipo de solo na área experimental é o latossolo vermelho. O experimento foi implantado em 2011 e conduzido pela equipe do Laboratório de Agricultura de Precisão da USP/ESALQ, totalizando sete adubações e seis safras. O delineamento experimental seguiu o modelo inteiramente casualizado, com dois tratamentos e cinco repetições. O primeiro tratamento consistiu de cinco talhões de 25 ha, tratados em doses variadas (DV) de nitrogênio, fósforo, potássio e calcário (talhões 1, 3, 5, 7 e 9). O segundo tratamento consistiu de cinco talhões de 25 ha, conduzidos da forma convencional onde a adubação e calagem foram aplicadas em doses fixas (DV) (talhões 2, 4, 6, 8 e 10).

Figura 1 - Croqui do experimento com os dez talhões.

Figura 2 - Nomenclatura dos tratamentos.

Tabela 1 - Especificações dos talhões com variedades dos pés de laranja e seus respectivos porta enxertos

Talhão	Tratamento	Variedade de copa	Porta enxerto	Data de implantação	Espaçamento (m)		Área (ha)
					entre ruas	entre plantas	
1	DV	Natal	Volkameriano	01/06/2008	6,8	2,8	25,0
2	DF	Natal	Volkameriano	01/06/2008	6,8	2,8	23,1
3	DV	Valência	Volkameriano	01/06/2008	6,8	2,8	25,0
4	DF	Valência	Swingle	01/06/2008	6,8	2,8	25,0
5	DV	Valência	Swingle	01/06/2008	6,8	2,8	25,0
6	DF	Valência	Swingle	01/06/2008	6,8	2,8	25,0
7	DV	Valência	Swingle	01/06/2008	6,8	2,8	25,0
8	DF	Natal	Swingle	01/07/2008	6,8	2,8	25,0
9*	DV	Valência	Swingle	01/02/2009	6,8	2,6	25,0
10*	DF	Valência	Swingle	01/02/2009	6,8	2,6	25,0

* adicionados ao experimento a partir do segundo ano de estudo

O cronograma do tratamento DV foi criado com intuito de adequar as operações necessárias ao manejo já utilizado na fazenda (Tabela 2). As atividades realizadas na área experimental consistiram em amostragens georreferenciadas de solo, adubações a doses variadas e fixas, e mapeamento da produtividade e dos teores nos solos entre 2011 e 2018, ano em que foram realizados os mapeamentos finais de produtividade e fertilidade do solo.

Os resultados das análises químicas de solo e produtividades obtidos em cada tratamento ao longo dos anos foram submetidos à análise de estatística descritiva, análise geoestatística e teste de comparação de médias. A geoestatística foi utilizada para verificar a dependência espacial dos atributos, com a finalidade de realização das interpolações. Os teores de nutrientes nos solos foram avaliados de acordo com a classificação de Raij et al., (1997) onde tem-se teores alto, médio, baixo e muito baixo encontrados nos solos para classificação de nutrição ao longo dos anos. Além disso, foram realizadas análises de composição granulométrica dos solos, mapa de altimetria e condutividade elétrica aparente dos talhões.

Tabela 2 - Cronograma de atividades realizadas anualmente, a cada ciclo produtivo, tanto para o tratamento DV quanto DF.

Atividade	Época											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
3ª Parcela da adubação (N, K)												
Amostragem de solo												
Pedido de calcário												
Aplicação de calcário												
Pedido de adubo												
1ª Parcela da adubação (N, P, K)												
Colheita												
2ª Parcela da adubação (N, P, K)												

3.2. Amostragem de solo

Os mapas de teores de nutrientes nos solos foram realizados durante sete anos (2011 a 2017) e serviram para a criação dos mapas dos níveis dos elementos nos solos e cálculo de recomendações de adubações. A amostragem de solo foi realizada anualmente, segundo uma grade amostral de 1 amostra ha⁻¹ na profundidade 0,2m, totalizando 125 amostras em cada tratamento (Figura 3). As amostragens de solo foram realizadas entre abril e maio, depois das três parcelas das adubações. Nos talhões do tratamento DV, as amostras foram utilizadas no cálculo das recomendações e nos talhões do tratamento DF, serviram apenas para o monitoramento dos teores no solo.

Figura 3 - Croqui indicando a posição das amostras de solo na área experimental, com 1 amostra ha⁻¹.

Em cada ponto amostral, no centro de uma rua, foram coletadas seis subamostras, três de cada lado, sob a projeção da copa das plantas (Figura 4). Para a navegação aos pontos amostrais utilizou-se um receptor GNSS modelo 62S (Garmin, Olathe, EUA). As amostras foram coletadas utilizando um amostrador com motor de combustão interna portátil e broca helicoidal com limitador de profundidade de 0,2m. As amostras foram posteriormente encaminhadas

ao laboratório para realização da análise química de nutrientes; foram determinados pH CaCl_2 0,01 mol L^{-1} , MO, P, K, Ca, Mg, H+Al, além dos cálculos SB, CTC, V %. No ano de 2011, foram incluídas análises físicas de composição granulométrica do solo para o mapeamento dos teores de argila presentes nos talhões.

Figura 4 - Coleta de amostras de solo na área experimental.

As análises químicas de nutrientes obtidas em laboratório eram tabuladas e atreladas às coordenadas geográficas de cada ponto da grade amostral. Para formar os mapas de fertilidade, os dados passaram por análises geoestatísticas e depois foram interpolados com pixel de 10 x 10 m pelo método da krigagem no software Vesper 1.6 (University of Sidney, Sidney, AU), ou pelo método do inverso da distância no QGIS (Open Source Geospatial Foundation, Beaverton, USA) nos casos onde não era encontrada dependência espacial entre as amostras. Os píxeis foram classificados segundo os teores de classes descritos por Rajj et al. (1997) (Tabela 3). Posteriormente, os percentuais dos talhões que se enquadravam em cada intervalo foram calculados para auxiliar na comparação entre os tratamentos DV e DF.

Tabela 3 - Tabela de classes de nutrientes nos solos para a cultura da laranja.

Classes de teores	P (mg dm^{-3})	K (mmolc dm^{-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: Adaptado de Rajj et al. (1997)

Adicionalmente, para caracterizar a variabilidade presente nas áreas, foi utilizado o sistema sensor de condutividade elétrica aparente do solo Veris 3100 (Veris Technology, Salina, EUA), tracionado por um trator ao longo das fileiras de laranja do experimento. O espaçamento entre as passadas foi de 15 m (uma passada a cada duas fileiras de laranja). O sensor possui seis eletrodos formados por discos de corte que são inseridos no solo; dois discos injetam uma corrente elétrica no solo e quatro captam a essa corrente elétrica, sendo dois na camada de aproximadamente 0 a 0,3 m e dois na camada de aproximadamente 0 a 0,9 m de profundidade. O mapeamento da condutividade elétrica aparente do solo está relacionado com o conteúdo de água no solo e por consequência, à textura do solo, como já observado em solos brasileiros por Machado et al. (2006) e Molin e Castro (2008).

Os pontos coletados no georreferenciamento dos sacolões dos anos 2012, 2013, 2015 e 2016 foram utilizados para a criação do mapa de altimetria da área experimental. Os valores de altitude registrados pelo GNSS de

navegação sem correção diferencial foram interpolados em uma malha de 10 x 10 m e posteriormente a média destes pontos de mesma coordenada geográfica (pixel) foram utilizados para confecção do mapa final.

3.3. Análise dos dados e geoestatística

Os resultados das análises químicas, bem como os dados de produtividade de todos os anos, em ambos tratamentos foram submetidos à análise estatística descritiva, geoestatística e teste de comparação de médias dos tratamentos. Testes de correlação entre os valores de CEa e teor de argila nos solos, além dos testes de normalidade e comparação de médias foram realizados com o auxílio do software R (Free Software Foundation, Boston, EUA). As análises geoestatísticas e interpolações por krigagem foram realizadas com o auxílio do software Vesper 1.6 (University of Sidney, Sidney, AU). Nos casos onde a dependência espacial era fraca, os mapas foram interpolados pelo método do inverso da distância com o software QGIS (Open Source Geospatial Foundation, Beaverton, USA).

Os semivariogramas foram analisados para os resultados de P, K, V% e produtividade de cada ano. Para os dados de solo, os parâmetros foram ajustados, a fim de apresentar o menor valor de AIC (Critério de Informação de Akaike), fator que se baseia no critério da Máxima Verossimilhança (AKAIKE, 1981) e que segundo Oliver (2010) é o método mais adequado utilizado para dados escassos. Quanto à dependência espacial, os níveis foram classificados de acordo com a metodologia proposta por Cambardella et al. (1994), segundo a Equação 1, a qual considera forte dependência espacial semivariogramas com grau de dependência (GD) menor que 25%, moderado quando o valor estiver entre 25 e 75% e fraca quando os valores forem maiores que 75%.

$$GD = \frac{Co}{C1+Co} \times 100 \quad (1)$$

em que:

Co = efeito pepita

C1 + Co = patamar

3.4. Mapeamento da produtividade

Os mapas de produtividade foram gerados nas seis safras de produção (2012/13 a 2017/18). Para mapeamento da produtividade foi inicialmente utilizada a metodologia proposta por Molin e Mascarin (2007), onde os frutos eram retirados manualmente dos pés e colocados em sacolões, que eram dispostos a cada três fileiras de laranjas em todos os tratamentos. Os sacolões utilizados na colheita eram georreferenciados com a utilização de um receptor GNSS Garmin 62S (Garmin, Olathe, EUA) de navegação (Figura 5) e os volumes totais de colheita de cada talhão foram utilizados na geração do mapa de produtividade. Uma equipe da fazenda foi treinada para realização da coleta e armazenamento dos dados. Os dados eram posteriormente enviados para processamento em um SIG, o QGIS (Open Source Geospatial Foundation, Beaverton, USA). O mapeamento da produtividade foi realizado tanto nos talhões conduzidos com AP como nos talhões de controle. A quantidade de sacolões variou de 700 a 4000 por talhão de 25 ha ao longo dos seis anos de colheita, e uma vez que os pomares estavam em fase de crescimento, valores maiores no decorrer dos anos era algo esperado.

Figura 5 - Dados brutos utilizados para confecção dos mapas de produtividade mostrando os pontos referentes aos sacolões; exemplo da colheita da safra 2016/2017

Os dados brutos passaram por processo de primeira limpeza com a remoção de pontos repetidos. O passo seguinte foi a criação da área de representatividade de cada sacolão com a utilização da ferramenta denominada “polígono de Voronoi” (Figura 6), uma evolução do processo utilizado por Molin e Mascarin (2007). O volume total colhido, fornecido de acordo com os valores das entradas das frutas na indústria em caixas de 40,8 kg, era convertido em $t\ ha^{-1}$, dividido pelo número de sacolões presentes naquele talhão, dessa forma, o peso dos sacolões foi considerado uniforme e associado ao centróide e área de cobertura de cada polígono (Figura 6). O polígono de Voronoi representa a área de cobertura de um sacolão cheio e obtém-se, assim, a coordenada e respectiva produtividade de cada pequeno polígono ao longo de todo talhão (OKABE et al., 1999). O volume colhido em cada talhão era salvo com suas respectivas coordenadas geográficas e exportado para ser trabalhado em planilha eletrônica.

Figura 6 – Criação dos polígonos de Voronoi, extração dos centróides e coordenadas de cada polígono.

Posteriormente, na planilha eletrônica foram calculadas as produtividades médias e o desvio padrão de cada talhão. Os pontos que excederam a média mais ou menos duas vezes o desvio padrão das produtividades obtidas foram excluídos. O segundo processo de filtragem foi realizado com o auxílio do software Mapfilter (SPEKKEN et al. 2013) e consistiu em excluir os dados não representativos, utilizando raio de análise dos dados de 15m e mediana de 25%. Após a realização das limpezas e filtrações, foi realizada a análise geoestatística dos dados. Estes foram interpolados em uma grade regular, da mesma forma já descrita para os atributos do solo. Dessa forma, foram confeccionados os

mapas de produtividade dos talhões da fazenda e calculadas as respectivas necessidades de insumos para cada porção da lavoura. Cada talhão foi interpolado separadamente e depois somados para serem apresentados no relatório final. A cada ano, foi calculado um fator de incremento (ou decremento) de acordo com os mapas de produtividade de cada talhão para a safra seguinte, que era utilizado para o cálculo das equações de recomendação de insumos. As colheitas foram realizadas de outubro a dezembro e os mapas de produtividade confeccionados serviram para o cálculo de exportações dos nutrientes e possibilitaram a visualização da variabilidade da produtividade nas áreas.

3.5. Tratamento em Doses Variadas (DV)

O tratamento DV consistiu em adubações realizadas em doses variadas, de acordo com recomendações obtidas a partir dos mapas de produtividade e de atributos químicos de solo. O cálculo de doses de N, P e K foram calculadas com base na metodologia de Raij et al. (1997) que fornece as doses de nutrientes de cada elemento, segundo os níveis de nutrientes nos solos e a produtividade esperada de cada ano (Tabela 4).

Tabela 4 - Recomendação de adubação segundo análises foliares e de solo e classes de produção

Classes de produção	N foliar (g kg ⁻¹)			P – resina (mg dm ⁻³)				K- trocável (mmolc dm ⁻³)			
	<23	23-27	>27	<5	6-12	13-30	>30	<0,7	0,8-1,5	1,6-3	>3
(t ha ⁻¹)	----- 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).

Entretanto, ao invés de utilizar os valores indicados de acordo com cada classe, os valores de recomendação foram interpolados por meio de uma regressão linear multivariada, realizada no software R 2.12.0 (Free Software Foundation, Boston, EUA), segundo a metodologia apresentada por Colaço e Molin (2016) (Figura 7). Foram utilizadas para as recomendações, equações função de duas variáveis, produtividade esperada e nível do elemento no solo como apresentadas nas Equações 2, 3 e 4.

Figura 7 - Valores de recomendação de P_2O_5 em função da produtividade esperada e do teor do nutriente no solo; Colaço e Molin (2016)

$$Rec_N_i = 2,40 \times Prod_esp_i - 5,40 \times N_foliar_i + 218,50 \quad (2)$$

$$R^2 = 0,97$$

$$Rec_P_i = 2,09 \times Prod_esp_i - 2,04 \times P_solo_i + 46,83 \quad (3)$$

$$R^2 = 0,98$$

$$Rec_K_i = 2,86 \times Prod_esp_i - 49,21 \times K_solo_i + 91,72 \quad (4)$$

$$R^2 = 0,95$$

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 $kg\ ha^{-1}$

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

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

K_solo_i = teor de K no solo na quadrícula i , em $mmol\ c\ dm^{-3}$

As adubações têm como base as amostragens georreferenciadas e as respectivas exportações de nutrientes obtidas dos mapas de colheita para N, P, K e calcário. Todos os mapas foram confeccionados com o pixel (quadrícula) de 10 x 10 m e trabalhados no QGIS (Open Source Geospatial Foundation, Beaverton, USA), sendo possível a geração de recomendações de insumos para cada pixel. Para as aplicações de N foi utilizado um valor de N médio para cada talhão proveniente das análises foliares e os mapas de produtividade para geração das recomendações deste elemento.

As quantidades totais de fertilizantes necessários nas áreas foram parceladas em três adubações, nas mesmas épocas das adubações do tratamento DF. No caso do nitrogênio, na primeira parcela era aplicada uma dose fixa de $250\ kg\ ha^{-1}$ nos meses de setembro e outubro nos talhões do tratamento DV, uma vez que essa aplicação ocorria antes da colheita dos frutos, não sendo possível a utilização dos mapas de extração. Para a segunda parcela, que geralmente ocorria entre os meses de dezembro a janeiro, e terceira parcela, que ocorria entre fevereiro e março, eram calculados os insumos necessários com base na exportação desse nutriente segundo os mapas de produtividade e estimativa de

produção da próxima safra e teores foliares amostrados pelo pessoal da fazenda. O valor total de N era subtraído dos 250 kg ha⁻¹ já aplicados e dividido por dois para a realização das parcelas restantes de aplicação.

O fósforo no solo é pouco móvel, pois permanece retido nos colóides, portanto, não é um nutriente perdido facilmente por percolação e lixiviação. Frente a tal dinâmica, no experimento ele era aplicado parcelado em duas vezes e não em três, segundo os valores dos mapas de solo e de exportação, calculados por meio do mapa de produtividade. A primeira parcela ocorria entre os meses de setembro e outubro, utilizando apenas os mapas de teores no solo e expectativa de produção; eram aplicados metade da dose total. A segunda parcela ocorria nos meses de dezembro e janeiro, utilizando os mapas de solo e de produtividade, aplicando o restante dos valores calculados para cada pixel de P.

No caso do potássio, a primeira parcela era calculada com base nos mapas de solo e expectativa de produção, semelhante ao fósforo, e realizada também em setembro e outubro. A segunda e terceira aplicações eram calculadas com base nos teores nos solos e os mapas de produtividade. Na primeira parcela de K eram aplicados 40% do volume total necessário nos meses de setembro e outubro, sem a utilização dos mapas de produtividade, uma vez que aconteciam antes da colheita. Para a segunda e terceira parcelas, os 60% restantes eram divididos em 30% em cada aplicação do volume total calculado, sendo aplicadas nos meses de dezembro a janeiro, e fevereiro a março, respectivamente.

O cronograma da segunda e terceira adubações dependia da operação de colheita dos frutos e da geração dos mapas de produtividade, e em alguns anos, o atraso nas aplicações podem ter causado efeito aos talhões do tratamento DV. Como nutrientes fornecedores de N, P e K, foram utilizados nitrato de amônio, superfosfato simples e cloreto de potássio como produtos simples.

A necessidade de calcário, com aplicações realizadas nos meses de abril e maio, foi calculada segundo os conceitos de elevação da saturação de bases para 70%, segundo Raij et al. (1997) para a cultura da laranja. A Equação 5 foi utilizada para a realização dos cálculos para cada pixel.

$$NCi = \frac{(V2-V1i) \times CTCi}{PRNT \times 10} \quad (5)$$

em que:

NCi = necessidade de calcário no pixel i, em t ha⁻¹;

V1i = saturação de bases atual do solo no pixel i, em %;

V2 = saturação de bases desejada;

CTCi = capacidade de trocas de cátions a pH 7,0, no pixel i, em mmol_c dm⁻³;

PRNT = poder relativo de neutralização total do calcário.

Para aplicação dos insumos no tratamento DV utilizou-se uma máquina adubadora de arrasto modelo Komander HD Full (Kamaq, Araras, BR), com mecanismo dosador volumétrico e distribuidor centrífugo com defletor, direcionando os insumos sob a copa das plantas. A máquina era equipada com um controlador hidráulico de vazão e um monitor para leitura dos mapas de recomendação de doses variadas Vcom 5.6 (Verion, Guarulhos, BR), atuando na velocidade da esteira transportadora e um receptor GNSS para localização e, consequentemente, ajuste localizado de doses. O fluxograma de processamento dos dados para o tratamento DV é apresentado na Figura 8.

Figura 8 – Fluxograma de processamento dos dados para confecção dos mapas e aplicação no tratamento DV.

3.6. Tratamento em Doses Fixas (DF)

No tratamento DF, as adubações basearam-se nos critérios estabelecidos pela equipe técnica da fazenda, seguindo as metodologias convencionais de simples amostragem de solo. Uma amostra de solo era coletada em cada talhão. Cada amostra era composta de 25 subamostras coletadas, aleatoriamente, pela equipe da fazenda na profundidade de 0,2m e de 0,2-0,4m retiradas com trado holandês. A dose de fertilizantes era determinada com base na metodologia de van Raij et al. (1997) (Tabela 4) e dependia dos nutrientes contidos no solo e da expectativa média de produção desejada para a área. De acordo com os resultados das análises laboratoriais, era utilizada uma fórmula de fertilizante N-P-K. As adubações do tratamento DF também foram parceladas em três aplicações: 40, 30 e 30% da taxa total dos insumos necessários, segundo o cronograma mostrado na Tabela 2.

No caso do calcário, o critério para a recomendação utilizada para o tratamento DF era o mesmo do DV. Ambos os tratamentos seguiram o critério da elevação da saturação de bases (V%) para 70, valor recomendado para laranja, segundo Raij et al. (1997).

As máquinas utilizadas para aplicação dos insumos foram as mesmas do DV, porém sem o recurso de taxa variada e devidamente reguladas para a aplicação em doses fixas nos talhões desse tratamento.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Geoestatística

Na Tabela 5 são apresentados os valores utilizados para modelagem dos semivariogramas (anexos) de P, K e V% dos dados de solo provenientes das amostragens realizadas no experimento. Todos os semivariogramas ajustados utilizaram o modelo exponencial. A maioria dos variogramas apresentou dependência espacial de moderada a forte em ambos os tratamentos.

Kerry e Oliver (2004) propõe que a definição do tamanho da grade amostral deve ser metade do alcance encontrado na modelagem do semivariograma, porém esse parâmetro merece atenção em sua aplicação, uma vez que os atributos podem variar de acordo com cada área investigada. Analisando os dados de K no solo, os valores médios de alcance foram da ordem de 165,0 m no DF e 123,6 m no DV, porém, dos 68 mapas confeccionados, apenas 25 deles estavam com alcance maior que 100 m (1 amostra ha⁻¹), o que seria necessário para a modelagem dos semivariogramas e que era o tamanho da grade amostral para parâmetros de solo nesse experimento, sendo 14 deles no DF e 11 no DV. Analisando os dados de P no solo, os valores médios de alcance foram de 105,1 m no DF e 140,6 m no DV, no entanto, novamente dos 64 mapas confeccionados, apenas 23 estavam dentro do alcance da grade amostral, sendo 11 deles no DF e 12 no DV. Para os valores de V% no solo, as médias de alcance foram de 115,5 m no DF e 187,4 m no DV; destes mapas, 39 deles estavam dentro do alcance da grade amostral, 19 no DF e 20 no DV.

Os valores analisados de P e K no solo frequentemente atingiram alcances menores do que o tamanho da grade amostral, o que dificulta a modelagem dos semivariogramas. Tal fato pode ser atribuído à dinâmica destes elementos no solo quanto à fixação e imobilização, o que acarreta na dificuldade de seu mapeamento, sendo encontradas grandes variabilidades a curtas distâncias. Foi encontrado efeito pepita puro para P, K e V% no solos em ambos os tratamentos, segundo dados da Tabela 5, o que não permitiu a caracterização da dependência espacial. Ao considerar a grade amostral como metade do valor do alcance, tais resultados indicam a necessidade de amostragem ainda mais densa para a correta modelagem dos semivariogramas de P, K e V%.

Tabela 5 - Parâmetros geoestatísticos dos modelos ajustados dos semivariogramas de P, K e V% dos talhões.

Ano	Trat.	Quadra	Nutriente	Modelo	C ₀ ⁽¹⁾	C ₁ ⁽²⁾	A ₁ ⁽³⁾	RMSE ⁽⁴⁾	AIC ⁽⁵⁾	GD ⁽⁶⁾ (%)	DE ⁽⁷⁾
2011/12	DF	2	P	Exponencial	46,4	-*	-	9,4	73,9	-	-
			K	Exponencial	0,0	0,2	186,7	0,1	-52,7	0,00	Forte
			V%	Exponencial	61,6	14,8	41,1	49,6	210,3	80,61	Fraca
		4	P	Exponencial	0,0	428,9	114,9	89,2	219,7	0,00	Forte
			K	Exponencial	0,0	-*	-	0,1	-12,9	-	-
			V%	Exponencial	7,2	80,8	111,7	48,9	293,0	8,20	Forte
		6	P	Exponencial	0,0	42,7	91,6	19,3	164,6	0,00	Forte
			K	Exponencial	0,0	**	-	0,1	-53,8	-	-
			V%	Exponencial	0,0	57,0	48,5	23,9	203,2	0,00	Forte
		8	P	Exponencial	0,0	70,6	53,0	32,5	140,4	0,00	Forte
			K	Exponencial	0,0	0,1	98,1	0,1	-27,1	0,00	Forte
			V%	Exponencial	0,0	79,3	40,2	19,7	205,1	0,00	Forte
	DV	1	P	Exponencial	0,0	37,3	39,0	8,6	72,0	0,00	Forte
			K	Exponencial	0,0	0,2	147,0	0,0	-23,8	0,00	Forte
			V%	Exponencial	0,0	86,5	157,3	6,9	33,4	0,00	Forte
		3	P	Exponencial	0,0	185,3	345,3	15,0	146,2	0,00	Forte
			K	Exponencial	0,0	0,0	31,1	0,1	-27,7	64,46	Moderada
			V%	Exponencial	17,6	31,0	169,0	6,5	80,7	36,17	Moderada
		5	P	Exponencial	0,0	284,2	290,0	93,6	221,4	0,00	Forte
			K	Exponencial	0,1	**	-	0,0	-85,0	-	-
			V%	Exponencial	0,0	115,1	168,4	13,9	152,8	0,00	Forte
		7	P	Exponencial	53,2	**	-	17,4	77,1	-	-
			K	Exponencial	0,0	0,2	481,7	0,1	-20,1	0,00	Forte

--

2012/13	DF	2	V%	Exponencial	31,9	**	-	6,4	59,3	-	-
			P	Exponencial	0,0	11,9	99,0	3,0	40,2	0,00	Forte
			K	Exponencial	0,0	- *	-	0,0	-72,6	-	-
		4	V%	Exponencial	0,0	82,7	58,7	13,7	81,4	0,00	Forte
			P	Exponencial	0,0	39,1	67,4	11,0	197,2	0,00	Forte
			K	Exponencial	0,0	0,1	115,0	0,0	-104,5	0,00	Forte
		6	V%	Exponencial	0,0	71,0	77,1	13,3	151,1	0,00	Forte
			P	Exponencial	0,0	8,2	40,2	2,1	34,6	0,00	Forte
			K	Exponencial	0,0	0,1	39,7	0,0	-39,1	0,00	Forte
		8	V%	Exponencial	0,0	42,1	105,4	9,1	121,0	0,00	Forte
			P	Exponencial	16,3	- *	-	6,7	67,2	-	-
			K	Exponencial	0,0	0,1	431,3	0,0	-84,9	0,00	Forte
	DV	10	V%	Exponencial	43,2	- *	-	8,6	57,0	-	-
			P	Exponencial	7,3	13,1	163,1	4,2	51,5	35,80	Moderada
			K	Exponencial	0,0	- *	-	0,0	-53,6	-	-
		1	V%	Exponencial	0,0	31,5	49,7	8,9	128,5	0,00	Forte
			P	Exponencial	15,4	**	-	3,0	56,4	-	-
			K	Exponencial	0,0	0,0	156,0	0,0	-46,1	31,02	Moderada
		3	V%	Exponencial	0,0	59,8	66,5	10,7	76,4	0,00	Forte
			P	Exponencial	19,4	**	-	3,9	50,3	-	-
			K	Exponencial	0,0	0,1	48,3	0,1	-23,7	0,00	Forte
		5	V%	Exponencial	0,0	84,1	111,3	12,2	139,3	0,00	Forte
			P	Exponencial	0,0	8,7	51,0	4,3	159,1	0,00	Forte
			K	Exponencial	0,0	0,1	61,4	0,0	-79,4	0,00	Forte
			V%	Exponencial	84,4	- *	-	13,0	80,4	-	-

2013/14	DF	7	P	Exponencial	0,0	50,3	83,4	17,3	160,6	0,00	Forte
			K	Exponencial	0,1	0,1	163,4	0,1	-43,4	50,59	Moderada
			V%	Exponencial	98,3	16,6	93,4	30,2	180,7	85,59	Fraca
		9	P	Exponencial	0,0	8,4	27,1	1,6	38,0	0,00	Forte
			K	Exponencial	0,0	0,1	284,8	0,0	-105,1	0,00	Forte
			V%	Exponencial	0,0	86,7	303,0	21,6	90,4	0,00	Forte
		2	P	Exponencial	0,0	14,3	46,4	3,8	74,3	0,00	Forte
			K	Exponencial	0,0	**	-	0,1	-33,3	-	-
			V%	Exponencial	0,0	50,0	85,1	11,9	191,9	0,00	Forte
		4	P	Exponencial	0,0	130,5	164,0	27,2	198,0	0,00	Forte
			K	Exponencial	0,0	**	-	0,0	-87,3	-	-
			V%	Exponencial	30,8	94,8	424,9	6,6	66,6	24,52	Forte
	DV	6	P	Exponencial	0,0	45,7	188,8	8,3	126,2	0,00	Forte
			K	Exponencial	0,1	0,0	109,1	0,0	-46,2	95,53	Fraca
			V%	Exponencial	0,0	43,2	47,4	4,7	59,8	0,00	Forte
		8	P	Exponencial	41,7	- *	-	29,4	179,7	-	-
			K	Exponencial	0,0	0,1	42,2	0,0	-73,4	0,00	Forte
			V%	Exponencial	54,3	- *	-	7,9	70,3	-	-
		10	P	Exponencial	25,8	**	-	5,8	50,6	-	-
			K	Exponencial	0,0	0,2	476,1	0,0	-92,6	0,00	Forte
			V%	Exponencial	6,3	18,6	63,5	24,0	131,9	25,17	Moderada
		1	P	Exponencial	0,0	96,1	116,4	5,7	63,7	0,00	Forte
			K	Exponencial	0,0	0,4	39,1	0,1	-20,2	0,00	Forte
			V%	Exponencial	0,0	100,6	210,8	2,4	46,9	0,00	Forte
		3	P	Exponencial	0,0	59,7	42,6	28,7	168,3	0,00	Forte

2014/15	DF		K	Exponencial	0,0	0,2	63,4	0,1	-30,7	0,00	Forte
			V%	Exponencial	21,4	106,7	110,2	22,0	110,0	16,73	Forte
		5	P	Exponencial	0,0	224,0	93,1	39,1	91,7	0,00	Forte
			K	Exponencial	0,2	-*	-	0,0	-29,4	-	-
			V%	Exponencial	64,6	114,3	437,5	32,0	270,9	36,11	Moderada
		7	P	Exponencial	0,0	87,6	43,0	47,1	291,1	0,00	Forte
			K	Exponencial	0,0	0,2	64,4	0,0	-43,7	0,00	Forte
			V%	Exponencial	0,0	45,06	150,2	11,78	219,0	0,00	Forte
		9	P	Exponencial	0,0	124,9	408,4	12,5	140,1	0,00	Forte
			K	Exponencial	0,1	-*	-	0,0	-35,9	-	-
			V%	Exponencial	0,0	40,1	26,9	4,0	69,1	0,00	Forte
		2	P	Exponencial	14,4	-*	-	48,5	256,6	-	-
			K	Exponencial	0,0	0,2	366,2	0,0	-49,0	0,00	Forte
			V%	Exponencial	0,0	81,8	26,0	13,9	99,1	0,00	Forte
		4	P	Exponencial	0,0	33,8	49,9	11,6	146,2	0,00	Forte
			K	Exponencial	0,0	0,0	87,9	0,0	-92,2	0,00	Forte
			V%	Exponencial	0,0	158,2	31,2	55,3	86,8	0,00	Forte
		6	P	Exponencial	0,0	32,3	53,6	9,0	196,1	0,00	Forte
			K	Exponencial	0,1	0,0	79,2	0,1	-39,1	84,90	Fraca
			V%	Exponencial	0,0	119,5	39,6	36,6	154,7	0,00	Forte
		8	P	Exponencial	21,2	-*	-	15,8	234,2	-	-
			K	Exponencial	0,0	0,1	155,3	0,1	-51,3	0,00	Forte
			V%	Exponencial	30,3	148,2	167,1	163,2	355,7	16,95	Forte
		10	P	Exponencial	0,0	90,6	114,8	23,5	131,3	0,00	Forte
			K	Exponencial	0,0	0,1	267,7	0,0	-105,1	5,93	Forte

2015/16	DV		V%	Exponencial	34,5	59,8	133,1	27,4	262,8	36,61	Moderada
		1	P	Exponencial	0,0	71,8	110,4	6,6	73,9	0,00	Forte
			K	Exponencial	0,0	0,2	27,8	0,1	-33,2	0,00	Forte
			V%	Exponencial	54,9	57,1	534,5	7,3	121,7	49,04	Moderada
		3	P	Exponencial	32,4	**	-	3,6	54,5	-	-
			K	Exponencial	0,0	0,4	167,8	0,0	-37,0	0,00	Forte
		5	V%	Exponencial	0,0	138,8	166,0	15,9	148,2	0,00	Forte
			P	Exponencial	0,0	99,8	41,6	13,7	116,2	0,00	Forte
			K	Exponencial	0,0	0,1	111,0	0,0	-104,8	0,00	Forte
		7	V%	Exponencial	0,0	76,1	59,6	12,6	149,1	0,00	Forte
			P	Exponencial	0,0	38,8	42,1	9,6	208,3	0,00	Forte
			K	Exponencial	0,0	-*	-	0,0	-46,2	-	-
		9	V%	Exponencial	0,0	85,3	101,4	29,9	212,7	0,00	Forte
			P	Exponencial	0,5	127,2	336,7	5,2	110,4	0,40	Forte
			K	Exponencial	0,0	0,9	51,2	0,1	-19,8	0,00	Forte
			V%	Exponencial	52,5	18,8	239,1	14,3	117,4	73,66	Moderada
	DF	2	P	Exponencial	0,0	182,8	56,7	53,0	212,8	0,00	Forte
			K	Exponencial	0,0	0,1	118,4	0,0	-72,8	0,00	Forte
			V%	Exponencial	0,0	56,6	180,3	7,2	137,0	0,00	Forte
		4	P	Exponencial	0,0	137,1	60,2	20,0	89,0	0,00	Forte
			K	Exponencial	0,0	0,0	67,0	0,0	-59,2	14,87	Forte
			V%	Exponencial	0,0	118,8	30,4	24,9	93,3	0,00	Forte
		6	P	Exponencial	0,0	107,4	49,7	8,3	63,8	0,00	Forte
			K	Exponencial	0,0	0,1	46,2	0,0	-53,2	0,00	Forte
			V%	Exponencial	0,0	90,4	58,8	23,6	82,7	0,00	Forte
		8	P	Exponencial	94,4	36,3	156,5	67,9	209,9	72,21	Moderada

2016/17	DV	10	K	Exponencial	0,0	0,1	374,5	0,0	-66,0	3,40	Forte	
			V%	Exponencial	110,7	34,9	387,2	12,6	79,8	76,04	Fraca	
			P	Exponencial	0,0	186,4	215,3	31,5	182,2	0,00	Forte	
		K	Exponencial	0,0	0,1	92,8	0,0	-100,6	16,10	Forte		
		V%	Exponencial	0,0	66,22	42,8	22,62	160,2	0,00	Forte		
		1	P	Exponencial	106,3	**	-	31,6	204,0	-	-	
			K	Exponencial	0,0	- *	-	0,0	-33,7	-	-	
			V%	Exponencial	138,6	- *	-	4958,2	240,0	-	-	
		3	P	Exponencial	35,4	279,2	274,0	26,2	134,4	11,26	Forte	
			K	Exponencial	0,0	- *	-	0,0	-62,4	-	-	
			V%	Exponencial	0,0	205,0	395,6	22,1	91,0	0,00	Forte	
		5	P	Exponencial	0,0	159,6	196,3	31,7	182,5	0,00	Forte	
			K	Exponencial	0,0	- *	-	0,0	-110,0	-	-	
			V%	Exponencial	0,0	169,4	118,3	33,8	184,7	0,00	Forte	
		7	P	Exponencial	0,0	103,2	123,1	57,1	203,6	0,00	Forte	
			K	Exponencial	0,1	**	-	0,0	-52,5	-	-	
			V%	Exponencial	25,9	109,2	319,6	15,6	156,9	19,16	Forte	
		9	P	Exponencial	16,7	29,7	132,4	18,8	203,1	36,01	Moderada	
			K	Exponencial	0,0	0,1	228,0	0,0	-112,1	0,00	Forte	
			V%	Exponencial	60,4	- *	-	10,5	134,3	-	-	
		DF	2	P	Exponencial	29,3	**	-	9,1	73,2	-	-
				K	Exponencial	0,0	0,0	73,7	0,0	-63,6	0,00	Forte
				V%	Exponencial	0,0	199,5	170,9	30,8	97,6	0,00	Forte
			4	P	Exponencial	0,0	158,2	107,9	50,3	175,8	0,00	Forte
				K	Exponencial	0,0	- *	-	0,1	-21,0	-	-
				V%	Exponencial	0,0	240,7	69,9	34,4	99,8	0,00	Forte
			6	P	Exponencial	0,0	36,5	81,5	9,6	74,2	0,00	Forte

DV			K	Exponencial	0,0	0,1	41,9	0,0	-55,0	0,00	Forte	
			V%	Exponencial	0,0	137,8	68,4	22,8	91,6	0,00	Forte	
			8	P	Exponencial	0,0	133,5	124,0	21,7	158,8	0,00	Forte
				K	Exponencial	0,1	- *	-	0,0	-38,7	-	-
				V%	Exponencial	29,1	108,8	299,0	19,3	244,6	21,11	Forte
			10	P	Exponencial	0,0	- *	-	83,2	217,2	-	-
				K	Exponencial	0,0	0,1	297,1	0,0	-101,0	31,38	Moderada
				V%	Exponencial	0,0	140,0	57,9	33,0	78,6	0,00	Forte
			1	P	Exponencial	0,0	123,6	62,0	12,5	79,6	0,00	Forte
				K	Exponencial	0,0	0,1	24,8	0,0	-95,8	0,00	Forte
				V%	Exponencial	70,2	58,9	272,8	51,1	247,1	54,38	Moderada
			3	P	Exponencial	0,0	239,6	347,0	13,8	143,3	0,00	Forte
				K	Exponencial	0,0	0,0	122,1	0,0	-84,7	67,04	Moderada
				V%	Exponencial	79,0	- *	-	34,5	229,7	-	-
			5	P	Exponencial	38,6	**	-	26,5	261,1	-	-
				K	Exponencial	0,1	- *	-	0,0	-116,0	-	-
				V%	Exponencial	95,3	- *	-	44,1	287,6	-	-
			7	P	Exponencial	58,0	**	-	15,2	232,2	-	-
				K	Exponencial	0,1	- *	-	0,0	-63,6	-	-
				V%	Exponencial	0,0	- *	-	27,3	262,7	-	-
			9	P	Exponencial	81,6	**	-	51,0	247,0	-	-
				K	Exponencial	0,0	0,1	219,3	0,0	-77,6	8,93	Forte
				V%	Exponencial	0,0	89,1	61,4	22,4	159,8	0,00	Forte
2017/18	DF	2	P	Exponencial	0,0	36,3	141,0	3,5	59,8	0,00	Forte	
			K	Exponencial	0,0	0,2	211,9	0,0	-61,9	0,00	Forte	

DV	4	V%	Exponencial	0,0	40,0	258,2	5,8	158,8	0,00	Forte
		P	Exponencial	0,0	43,2	154,3	9,4	181,2	0,00	Forte
		K	Exponencial	0,0	0,2	198,5	0,1	-32,2	0,00	Forte
	6	V%	Exponencial	0,0	186,6	185,4	31,4	108,2	0,00	Forte
		P	Exponencial	16,0	26,3	92,2	15,2	222,4	37,85	Moderada
		K	Exponencial	0,0	0,2	61,2	0,0	-82,8	0,00	Forte
	8	V%	Exponencial	0,0	-*	-	13,3	72,3	-	-
		P	Exponencial	25,0	21,0	215,4	20,5	247,7	54,37	Moderada
		K	Exponencial	0,0	0,3	226,1	0,0	-65,2	0,00	Forte
	10	V%	Exponencial	0,0	42,0	38,7	11,4	128,1	0,00	Forte
		P	Exponencial	0,0	53,0	31,5	17,9	191,0	0,00	Forte
		K	Exponencial	0,0	-*	-	0,0	-113,0	-	-
	1	V%	Exponencial	0,0	42,1	180,1	17,7	240,2	0,00	Forte
		P	Exponencial	0,0	-*	-	52,2	248,9	-	-
		K	Exponencial	0,0	0,2	79,7	0,0	-41,5	0,00	Forte
	3	V%	Exponencial	3,3	18,0	110,1	72,5	262,5	15,64	Forte
		P	Exponencial	0,0	94,3	53,3	48,1	244,5	0,00	Forte
		K	Exponencial	0,0	-*	-	0,4	34,1	-	-
	5	V%	Exponencial	0,0	78,9	60,6	14,7	145,5	0,00	Forte
		P	Exponencial	0,0	31,8	150,7	62,9	243,9	0,00	Forte
		K	Exponencial	0,0	-*	-	0,0	-72,9	-	-
	7	V%	Exponencial	0,0	40,7	325,7	6,0	184,2	0,00	Forte
		P	Exponencial	13,9	212,5	336,4	36,7	278,1	6,14	Forte
		K	Exponencial	0,0	0,1	87,9	0,0	-121,5	0,00	Forte
			V%	Exponencial	8,3	55,2	203,5	10,9	144,0	13,12

9	P	Exponencial	0,0	100,1	38,0	14,6	91,3	0,00	Forte
	K	Exponencial	0,0	0,1	59,6	0,0	-51,6	0,00	Forte
	V%	Exponencial	0,0	32,4	88,3	14,1	190,5	0,00	Forte

$C_0^{(1)}$ Efeito pepita; $C_1^{(2)}$ Patamar parcial; $A_1^{(3)}$ Alcance; $RMSE^{(4)}$ Raiz média do erro médio; $AIC^{(5)}$ Critério de informação de Akaike; $GD^{(6)}$ (%) Grau de dependência espacial; $DE^{(7)}$ Classificação da dependência espacial; * semivariograma sem patamar; ** efeito pepita puro.

Na Tabela 6 são apresentados os resultados da modelagem dos semivariogramas (anexos) para os dados de produtividade. O modelo exponencial foi o mais utilizado e em três casos, o modelo gaussiano permitiu melhor ajuste. O critério utilizado foi o de menor valor de AIC para a escolha do modelo que possibilitasse melhor ajuste. Em todos os anos foram obtidos semivariogramas sem patamar, ou seja, a variância cresce com o aumento da distância. O valor de alcance médio encontrado nos dados de produtividade foi de 169,9 m. Para a maioria dos talhões, os valores de alcance foram maiores que a largura de posicionamento dos sacolões na hora da colheita, que era de três ruas, ou seja, 20,4 m, o que permite a estimativa dos valores por meio da interpolação dos mapas. Dois talhões tiveram alcances abaixo do desejado no ano de 2012 no DV (talhões 3 e 5), um talhão no ano de 2016 no DV (talhão 5) e três talhões no ano de 2017, um no DF (talhão 8) e dois no DV (talhão 5 e 7).

Tabela 6 - Parâmetros geoestatísticos dos modelos ajustados dos semivariogramas de produtividade nos talhões.

Ano	Tratamento	Talhão	Modelo	C ₀ ⁽¹⁾	C ₁ ⁽²⁾	A ₁ ⁽³⁾	RMSE ⁽⁴⁾	AIC ⁽⁵⁾	GD ⁽⁶⁾ (%)	DE ⁽⁷⁾
2012/13	DF	2	Exponencial	18,95	53,52	201,00	3,86	196,10	26,15	Moderada
		4	Exponencial	22,96	13,02	84,58	1,14	120,50	63,81	Moderada
		6	Exponencial	34,01	16,31	200,10	2,96	179,60	67,59	Moderada
		8	Exponencial	8,00	18,77	137,70	0,86	103,10	29,88	Moderada
		10	Exponencial	2,60	10,00	27,00	0,40	56,00	20,63	Forte
	DV	1	Exponencial	49,02	53,21	858,50	0,94	108,80	47,95	Moderada
		3	Exponencial	42,21	26,21	20,24	2,75	175,10	61,69	Moderada
		5	Exponencial	55,83	39,62	14,68	1,45	135,50	58,49	Moderada
		7	Exponencial	55,15	30,93	117,70	1,74	146,90	64,07	Moderada
		9	Exponencial	9,21	8,17	47,06	0,61	81,68	52,99	Moderada
2013/14	DF	2	Exponencial	13,71	7,82	135,50	1,45	135,70	63,67	Moderada
		4	Exponencial	49,11	24,61	81,22	2,71	174,40	66,62	Moderada
		6	Exponencial	30,31	36,05	298,70	1,15	121,20	45,68	Moderada
		8	Exponencial	37,43	47,63	241,20	2,13	159,40	44,00	Moderada
		10	Exponencial	18,15	38,26	25,51	2,37	166,00	32,18	Moderada
	DV	1	Exponencial	22,64	-*	-	1,02	113,50	-	-
		3	Exponencial	36,69	173,20	502,50	7,50	237,40	17,48	Forte
		5	Exponencial	54,60	19,49	94,19	1,87	151,40	73,69	Moderada
		7	Exponencial	29,05	51,74	557,80	1,78	148,00	35,96	Moderada
		9	Exponencial	17,64	-*	-	2,37	166,00	-	-
2014/15	DF	2	Exponencial	38,57	88,61	22,56	3,35	187,40	30,33	Moderada
		4	Exponencial	152,30	186,40	20,99	6,58	229,30	44,97	Moderada
		6	Exponencial	274,40	-*	-	15,75	283,40	-	-
		8	Exponencial	374,20	290,80	66,07	17,60	290,30	56,27	Moderada
		10	Exponencial	84,68	-*	-	2,21	161,50	-	-
	DV	1	Exponencial	10,78	29,30	24,52	1,92	152,80	26,90	Moderada
		3	Exponencial	35,88	91,57	195,10	4,45	205,00	28,15	Moderada

		5	Exponencial	9,73	42,41	29,52	1,20	123,70	18,66	Forte
		7	Exponencial	50,11	25,93	100,00	3,78	194,90	65,90	Moderada
		9	Gaussiano	52,02	52,18	585,20	3,91	197,00	49,92	Moderada
2015/16	DF	2	Exponencial	205,30	-*	-	6,64	229,80	-	-
		4	Exponencial	62,87	115,30	831,30	1,47	136,20	35,29	Moderada
		6	Exponencial	148,40	294,90	797,40	4,64	207,60	33,48	Moderada
		8	Exponencial	63,46	-*	-	3,30	186,40	-	-
		10	Exponencial	45,03	22,18	69,66	1,82	149,70	67,00	Moderada
	DV	1	Gaussiano	2,32	117,90	427,30	3,05	181,50	1,93	Forte
		3	Exponencial	16,93	-*	-	2,40	166,80	-	-
		5	Exponencial	0,00	12,61	60,85	0,62	82,42	0,00	Forte
		7	Exponencial	0,00	57,60	131,70	3,86	196,20	0,00	Forte
		9	Exponencial	6,79	22,10	122,90	2,78	175,90	23,51	Forte
2016/17	DF	2	Exponencial	119,50	26,03	98,16	5,41	217,10	82,11	Fraca
		4	Exponencial	768,40	-*	-	51,53	356,90	-	-
		6	Exponencial	517,90	-*	-	26,84	316,40	-	-
		8	Exponencial	309,10	-*	-	15,76	283,40	-	-
		10	Exponencial	1218,90	393,80	209,40	51,41	356,70	75,58	Fraca
	DV	1	Exponencial	0,00	53,45	91,16	2,83	177,00	0,00	Forte
		3	Exponencial	0,00	31,36	29,72	1,07	116,60	0,00	Forte
		5	Exponencial	0,00	105,80	17,66	4,39	204,10	0,00	Forte
		7	Exponencial	20,96	81,60	32,27	4,50	205,60	20,44	Forte
		9	Exponencial	6,39	221,00	67,91	19,21	295,70	2,81	Forte
2017/18	DF	2	Gaussiano	2969,90	-*	-	289,60	463,90	-	-
		4	Exponencial	822,90	571,20	146,10	56,18	362,20	59,03	Moderada
		6	Exponencial	517,80	191,00	99,00	29,16	321,60	73,05	Moderada
		8	Exponencial	109,80	324,00	17,25	6,65	230,00	25,31	Moderada
		10	Exponencial	458,90	674,40	26,83	43,19	345,90	40,49	Moderada
	DV	1	Exponencial	74,30	3608,00	23,96	156,60	425,80	2,02	Forte

3	Exponencial	1076,20	854,00	84,39	69,81	375,70	55,76	Moderada
5	Exponencial	76,40	788,80	10,75	9,65	253,00	8,83	Forte
7	Exponencial	318,60	420,60	17,20	11,79	265,40	43,10	Moderada
9	Exponencial	0,00	291,10	64,46	24,95	311,90	0,00	Forte

$C_0^{(1)}$ Efeito pepita; $C_1^{(2)}$ Patamar parcial; $A_1^{(3)}$ Alcance; $RMSE^{(4)}$ Raiz média do erro médio; $AIC^{(5)}$ Critério de informação de Akaike; $GD^{(6)}$ (%) Grau de dependência espacial;

$DE^{(7)}$ Classificação da dependência espacial; * semivariograma sem patamar.

As análises nos dados de produtividade mostraram predominância de dependência espacial moderada. Árvores com diferentes tamanhos e estágios de crescimento estão presentes nos talhões, o que explica a variabilidade espacial ocorrer em curtas distâncias. Os talhões do DV apresentaram dependência espacial mais forte quando comparados ao DF, o que indica menor variabilidade em curtas distâncias, ou seja, baixo efeito pepita, que representa a variância estimada na distância zero entre as amostras e pode ser interpretada como um tipo de erro amostral; valores menores são mais desejados.

O talhão 5 do tratamento DV apresentou semivariograma sem patamar em três anos do estudo para os dados de K e V%. Nestes casos, o semivariogramas podem ser definidos, mas não se estabilizam em nenhum patamar, o que dificulta a caracterização da dependência espacial, especificamente para este talhão. Em estudos realizados com mapas de produtividade obtidos com colheita manual, Molin, Colaço e Carlos (2011) encontraram efeito pepita puro na modelagem do semivariogramas, o que não ocorreu neste trabalho. Cherubin et al. (2014) relatam que malhas amostrais de 100, 142 e 173m possibilitaram captar diferentes escalas de variabilidade espacial para P e K e alertam para riscos da utilização de malhas amostrais com poucos pontos de amostragem a fim de garantir a acurácia de caracterização e gestão da variabilidade destes nutrientes. Neste trabalho, o tamanho da malha amostral e a quantidade de pontos na malha não foram suficientes para a modelagem dos semivariogramas apresentados na Tabela 6.

4.2. Condutividade elétrica, altimetria e textura das áreas

A altitude da área (Figura 9 e apêndice) apresenta variação de 622 a 652 m, sendo que em algumas regiões mais baixas podem ser observadas porções com maiores valores de condutividade elétrica aparente nos solos, uma vez que estes locais acumulam mais água e apresentam maiores valores de argila. A porcentagem de argila variou de 11,9% a 18,6% no mapa interpolado, o que é pouco expressivo para caracterização de padrões de comportamento espacial das plantas no pomar que se repetem ao longo dos anos, associados a esse atributo. A porcentagem de argila presente nos solos pode ser correlacionada à disponibilidade de água e nutrientes às culturas, uma vez que os colóides presentes nos minerais de argila conseguem reter ou absorver maiores quantias de nutrientes essenciais às plantas.

Figura 9 - Mapa de altimetria da área experimental (A), mapa de textura do solo (B) e mapa de condutividade elétrica aparente do solo na camada 0 - 0,3m (C).

No mapa ficam evidentes algumas manchas no sentido de plantio dos pés de laranja, que representam quantidade de matéria verde nas entrelinhas da cultura, o que é comum em pomares comerciais. A quantidade de matéria verde afeta a umidade do solo e, conseqüentemente, a qualidade do mapeamento, porém a área possui poucas variações de textura do solo e as manchas não ficaram evidentes neste trabalho devido provavelmente à pouca variação nestes teores encontrados. As correlações dos valores de CEa com os valores de textura no solo foram baixas e não foram tão evidenciados como observado por Corwin e Davis (2005). Molin e Faulin (2013), também encontraram boas correlações de CEa com umidade e teor de argila nos solos somente em um dos campos experimentais estudados, o segundo campo que não possuía altas variações de argila e umidade não apresentou resultados significativos.

4.3. Consumo de insumos

As quantidades médias de insumos aplicados nos tratamentos são apresentadas de forma detalhada na Tabela 7 e podem ser visualizadas de forma resumida na Figura 110. O tratamento DV na maioria das aplicações utilizou maior quantidade de insumos quando comparado com o DF. Reduções no consumo de insumos apresentados por Colaço e Molin (2016) no tratamento em DV não foram encontrados neste trabalho. No ano inicial de 2011/12, a dose aplicada de N nos talhões do tratamento DV foi de 180 kg ha⁻¹, devido à falta de análises foliares para recomendação do elemento.

Tabela 7 - Estatística descritiva das aplicações médias dos insumos nos talhões DF e DV.

Ano	Tratamento	Unidade	Insumo	n	Média	Mínimo	Máximo	DP	CV (%)
2011/12	DF	kg ha ⁻¹	N*	4	149,0b	124,4	164,1	14,9	10,0
		kg ha ⁻¹	P ₂ O ₅ *	4	47,3b	39,2	52,1	4,9	10,3
		kg ha ⁻¹	K ₂ O*	4	94,5b	78,4	104,2	9,7	10,3
		t ha ⁻¹	Calcário	4	1,1a	0,0	2,1	0,7	69,2
	DV	kg ha ⁻¹	N*	4	180,0a	180,0	180,0	0,0	0,0
		kg ha ⁻¹	P ₂ O ₅ *	4	72,2a	66,7	83,7	6,8	9,5
		kg ha ⁻¹	K ₂ O*	4	167,0a	158,0	179,0	7,8	4,7
		t ha ⁻¹	Calcário	4	1,4a	1,3	1,5	0,1	6,2
2012/13	DF	kg ha ⁻¹	N	5	139,0a	113,4	159,6	17,5	12,6
		kg ha ⁻¹	P ₂ O ₅ *	5	74,0b	61,3	84,2	8,4	11,3
		kg ha ⁻¹	K ₂ O*	5	97,6b	79,8	113,2	12,6	12,9
		t ha ⁻¹	Calcário	5	1,2a	0,0	1,9	0,7	57,7
	DV	kg ha ⁻¹	N	5	139,2a	135,0	145,6	3,6	2,6
		kg ha ⁻¹	P ₂ O ₅ *	5	96,3a	84,8	105,0	7,2	7,5
		kg ha ⁻¹	K ₂ O*	5	160,1a	132,8	176,5	14,5	9,1
		t ha ⁻¹	Calcário	5	1,4a	1,0	1,7	0,3	20,4
2013/14	DF	kg ha ⁻¹	N*	5	184,3a	161,9	222,0	21,0	11,4
		kg ha ⁻¹	P ₂ O ₅	5	29,6a	20,1	41,8	10,0	33,9
		kg ha ⁻¹	K ₂ O*	5	94,2b	87,8	103,9	5,5	5,8
		t ha ⁻¹	Calcário	5	1,5a	0,9	1,8	0,3	20,5
	DV	kg ha ⁻¹	N*	5	153,9b	149,6	160,3	3,6	2,4
		kg ha ⁻¹	P ₂ O ₅	5	30,4a	6,4	56,5	16,8	55,1
		kg ha ⁻¹	K ₂ O*	5	107,5a	101,9	114,0	5,1	4,7
		t ha ⁻¹	Calcário	5	1,8a	1,1	2,2	0,4	21,2
2014/15	DF	kg ha ⁻¹	N	5	190,1a	181,0	198,2	5,8	3,1
		kg ha ⁻¹	P ₂ O ₅	5	66,2a	60,9	71,6	3,9	6,0

2015/16	DV	kg ha ⁻¹	K ₂ O	5	133,8a	128,4	140,0	3,8	2,9
		t ha ⁻¹	Calcário	5	0,4a	0,0	2,0	0,8	200,0
		kg ha ⁻¹	N	5	189,7a	187,4	193,1	1,9	1,0
		kg ha ⁻¹	P ₂ O ₅	5	62,3a	44,8	82,8	16,0	25,7
		kg ha ⁻¹	K ₂ O	5	142,2a	105,2	171,3	26,1	18,3
		t ha ⁻¹	Calcário	5	1,3a	1,0	1,7	0,3	20,2
	DF	kg ha ⁻¹	N	5	220,5a	200,8	232,5	13,1	6,0
		kg ha ⁻¹	P ₂ O ₅ *	5	76,3a	66,8	80,9	5,0	6,5
		kg ha ⁻¹	K ₂ O*	5	157,6b	146,2	166,0	9,2	5,8
		t ha ⁻¹	Calcário*	5	3,3a	2,5	5,0	1,0	31,2
	DV	kg ha ⁻¹	N	5	207,8a	133,0	269,1	43,5	21,0
		kg ha ⁻¹	P ₂ O ₅ *	5	35,2b	0,0	58,9	20,9	59,4
		kg ha ⁻¹	K ₂ O*	5	183,3a	155,6	212,9	19,6	10,7
		t ha ⁻¹	Calcário*	5	0,4b	0,0	0,8	0,3	81,7
2016/17	DF	kg ha ⁻¹	N	5	178,9a	152,0	207,2	18,2	10,2
		kg ha ⁻¹	P ₂ O ₅	5	59,4a	47,8	71,2	9,0	15,2
		kg ha ⁻¹	K ₂ O*	5	136,7b	112,4	165,6	19,7	14,4
		t ha ⁻¹	Calcário*	5	1,7a	1,5	2,0	0,2	13,9
	DV	kg ha ⁻¹	N	5	194,4a	185,1	212,3	9,7	5,0
		kg ha ⁻¹	P ₂ O ₅	5	66,8a	0,0	93,0	34,8	52,1
		kg ha ⁻¹	K ₂ O*	5	195,4a	183,2	217,8	12,4	6,4
		t ha ⁻¹	Calcário*	5	1,1b	0,7	1,4	0,2	22,2

* Diferença estatística entre as médias dos tratamentos ao nível de 5% de significância; letras iguais não diferem estatisticamente a nível de 5% de significância para o mesmo insumo no mesmo ano.

Para o caso dos fertilizantes nitrogenados, analisando os valores acumulados totais nestes seis anos de aplicação, os tratamentos utilizaram quase a mesma quantia de insumos no período, sendo que o tratamento DV utilizou 0,4% a mais de fertilizantes nitrogenados do que o DF.

Figura 10 - Quantidades médias totais de insumos aplicados nos tratamentos DF e DV durante seis anos e diferenças das quantidades aplicadas no tratamento DV em comparação ao DF.

No caso dos fertilizantes fosfatados, os valores acumulados totais de insumos fosfatados aplicados nos seis anos mostram que o tratamento DV utilizou 2,9% mais insumos que o DF. Os anos com maiores diferenças de insumos aplicados chegaram à ordem de 117% no tratamento DV em relação ao DF no anos de 2015/16, sendo que no primeiro ano do experimento, o consumo no DV chegou a ser 53% maior quando comparado ao DF.

Os fertilizantes potássicos foram os únicos que não apresentaram economias de aplicação em nenhum dos anos do experimento no DV, chegando a valores de aplicação da ordem de 121% maiores quando comparados com o DF. Ao analisar os valores acumulados de fertilizantes potássicos, o tratamento DV utilizou nos seis anos do experimento, cerca de 27,2% a mais deste insumo quando comparado com o DF.

As aplicações de calcário nos talhões do experimento chegaram à economia da ordem de 725% no tratamento DV no ano de 2015/16. Analisando os valores acumulados para este elemento, o tratamento DV utilizou nesses seis anos cerca de 24,3% menos do que o DF.

4.4. Teores de nutrientes nos solos

Os teores médios de nutrientes nos solos obtidos por meio de amostragem em cada tratamento estão apresentados resumidamente na Tabela 8 e apêndice AE (tabela completa dos talhões DF e DV).

Tabela 8 - Estatística descritiva dos teores médios no solo de P, K e V% nos talhões DF e DV do experimento

Ano	Tratamento	Unidade	Nutriente	n	Média	Mínimo	Máximo	DP	CV (%)	Nível
2011/12	DF	mg dm ⁻³	P	100	23,6a	8,0	87,0	12,9	54,5	Médio
		mmolc dm ⁻³	K	100	1,2a	0,5	2,6	0,4	36,7	Baixo
		%	V%	99	45,3a	18,0	70,0	9,5	20,9	Baixo
	DV	mg dm ⁻³	P	100	20,5a	7,0	82,0	9,9	48,5	Médio
		mmolc dm ⁻³	K	100	1,2a	0,5	2,8	0,4	31,7	Baixo
		%	V%	100	48,5a	31,0	69,0	7,7	15,8	Baixo
2012/13	DF	mg dm ⁻³	P	125	12,2a	4,0	29,0	5,4	44,0	Médio
		mmolc dm ⁻³	K	125	0,7a	0,1	1,9	0,3	46,0	Muito Baixo
		%	V%	124	44,8a	22,0	75,0	9,8	21,9	Baixo
	DV	mg dm ⁻³	P	125	13,8a	4,0	43,0	5,7	41,3	Médio
		mmolc dm ⁻³	K	125	0,8a	0,1	2,5	0,4	53,2	Baixo
		%	V%	125	47,0a	16,0	70,0	10,4	22,0	Baixo
2013/14	DF	mg dm ⁻³	P*	125	20,3b	6,0	50,8	8,8	43,3	Médio
		mmolc dm ⁻³	K*	125	0,9b	0,2	1,7	0,3	35,9	Baixo
		%	V%	125	30,7a	10,0	83,5	10,6	34,5	Baixo
	DV	mg dm ⁻³	P*	125	33,7a	11,0	63,0	10,5	31,2	Alto
		mmolc dm ⁻³	K*	125	2,0a	1,0	3,8	0,5	24,0	Médio
		%	V%	125	33,7a	10,0	65,1	11,1	32,8	Baixo
2014/15	DF	mg dm ⁻³	P*	125	21,0b	9,0	50,0	7,4	35,3	Médio
		mmolc dm ⁻³	K*	125	0,9b	0,3	2,3	0,3	38,2	Baixo
		%	V%	125	45,6a	7,8	94,4	12,2	26,8	Baixo
	DV	mg dm ⁻³	P*	125	28,1a	12,5	51,5	7,8	27,8	Médio
		mmolc dm ⁻³	K*	125	1,7a	0,6	5,8	0,8	46,3	Médio
		%	V%	125	42,2a	19,3	68,4	10,4	24,5	Baixo
2015/16	DF	mg dm ⁻³	P	117	47,9a	22,0	86,0	14,7	30,8	Alto
		mmolc dm ⁻³	K	123	1,2a	0,5	2,1	0,3	26,2	Baixo
		%	V%	119	60,5a	21,0	87,0	15,0	24,9	Médio
	DV	mg dm ⁻³	P	119	49,3a	27,0	84,0	13,3	27,0	Alto
		mmolc dm ⁻³	K	124	1,2a	0,5	2,7	0,4	35,3	Baixo
		%	V%	121	63,2a	32,0	86,0	12,9	20,4	Médio
2016/17	DF	mg dm ⁻³	P	125	31,1a	10,0	70,0	15,3	49,2	Alto
		mmolc dm ⁻³	K	125	0,9a	0,2	3,1	0,5	51,2	Baixo
		%	V%	125	52,8a	22,0	94,0	13,1	24,8	Médio
	DV	mg dm ⁻³	P	125	35,5a	12,0	71,0	12,0	33,8	Alto
		mmolc dm ⁻³	K	125	1,2a	0,3	2,2	0,4	33,1	Baixo
		%	V%	125	47,6a	14,0	75,0	12,2	25,6	Baixo
2017/18	DF	mg dm ⁻³	P	125	24,5a	7,0	51,0	8,7	35,4	Médio
		mmolc dm ⁻³	K	125	1,5a	0,9	2,8	0,5	30,6	Baixo
		%	V%	125	76,5a	38,0	89,0	8,4	11,0	Alto
	DV	mg dm ⁻³	P	125	30,9a	10,0	60,0	11,7	37,8	Alto

	mmolc dm ⁻³	K	125	1,1a	0,3	2,7	0,4	40,7	Baixo
	%	V%	125	75,0a	44,0	89,0	7,8	10,4	Alto

* Diferença estatística entre as médias dos tratamentos ao nível de 5% de significância; letras iguais não diferem estatisticamente a nível de 5% de significância para o mesmo insumo no mesmo ano.

Para os nutrientes P e K, somente no ano 2013/14 e 2014/15 houve diferenças significativas ao nível de 5% de significância entre os valores médios de teores destes nutrientes nos solos. No ano de 2012, por decisões gerenciais do corpo técnico da fazenda, as adubações dos talhões do tratamento DF tiveram redução da aplicação convencional de fertilizantes, o que não ocorreu com os talhões do tratamento DV, podendo ser uma das explicações para as diferenças estatísticas encontradas. Tal ação gerencial afetou negativamente o tratamento DF, que nos anos seguintes apresentou doses menores destes insumos presentes nos solos (Figura 11).

Ao analisar as médias totais gerais nos solos no período do experimento de 2011 a 2018, o tratamento DV apresenta valores mais elevados para P, K e V%, fator explicado pelas maiores aplicações e consumo de nutrientes neste tratamento.

Figura 11 - Teores médios de P, K e V% nos tratamentos e diferenças na quantidade média no DV em relação ao DF.

Os valores médios de P nos solos sempre foram mais altos no tratamento DV, com exceção no ano de 2011/12, ano inicial do experimento (Figura 11). Nos três primeiros anos, as aplicações de P₂O₅ foram maiores no tratamento DV, os anos seguintes de 2014/15 e 2015/16, mesmo com menores volumes aplicados, o tratamento DV chegou a 115% a mais de eficiência do uso deste insumo em relação ao DF, e os teores no solo desde o início foram

de “Médio” e “Alto” em ambos os tratamentos, com exceção do ano 2012/13, em que o tratamento DF apresentou valor “Baixo” de P no solo (Figura 12 e Figura 123). No ano de 2016/17, no tratamento DV voltou a ser aplicado mais P_2O_5 nas áreas, porém com maior eficiência no uso deste insumo. Fica evidente que o manejo variável deste insumo resultou em maiores valores presentes no solo, chegando a níveis excedentes nas análises das amostragens georreferenciadas dos anos 2015/16. Neste ano foi possível suprimir a adubação de fósforo de um dos talhões DV, o talhão 7, uma vez que os teores presentes no solo eram suficientes para o fornecimento de P, exigido pela cultura da laranja como pode ser visto nas Figura 12 e 13.

Analisando a média deste elemento no solo no período de 2011 a 2018, tem-se o tratamento DV com $30,23 \text{ mg dm}^{-3}$ e o DF com $25,92 \text{ mg dm}^{-3}$. Os mapas de P não apresentaram relação com o mapa de textura do solo da área do experimento, porém nota-se relação dos teores no espaço. A distribuição espacial pode ser notada em alguns talhões, porém não se repetem em todos os mapas. A classificação dos teores nos solos são semelhantes entre os tratamentos, sendo que o DV apresentou em todos os anos valores superiores ao DF.

Figura 13 - Percentual das áreas classificadas como teores "muito baixo", "baixo", "médio" e "alto" para os níveis de P no solo nos tratamentos DF e DV.

Os teores de K no solo no primeiro ano do experimento foram classificados como "Baixo", segundo a classificação de Raij et al. (1997) em ambos os tratamentos (Figura 14 e Figura 15). O potássio é um nutriente muito extraído pela cultura de citros e tal fato pode explicar os baixos teores no solo decorrentes das análises químicas no ano seguinte, em que nos dois tratamentos os valores médios no solo diminuíram. Como relatado, fica evidente nos mapas de K no solo nos anos de 2013/14, que a ação de diminuir a dose de fertilizantes no tratamento DF afetou significativamente os teores deste nutriente no solo, ao passo que o tratamento DV, que utiliza em seus cálculos de adubação os valores no solo e os valores exportados por meio dos mapas de produtividade, conseguiu repor este nutriente e aumentar os níveis de K no solo para a classe "Médio". Analisando o ano de 2014/15, percebe-se que a redução da adubação de 2012 afetou os teores de K no solo ao longo de mais de um ano, enquanto os níveis deste elemento no tratamento DV foram classificados em sua maioria como "Baixo" e "Médio"; o tratamento DF estava ainda com teores "Baixos" e "Muito Baixos". Nos anos de 2015/16 e 2016/17, o tratamento DV apresentou maiores teores médios de K no solo. Apenas no ano de 2017/18, o tratamento DF apresentou maiores valores de K quando comparado com o DV. Tais resultados comprovam o fato que o tratamento DV aplicou mais fertilizantes potássicos em todos os anos e também apresentou maiores valores médios deste nutriente nos solos, com exceção do ano 2017/18 em que o tratamento DF mesmo com menores aplicações apresentou maiores teores no solo. Neste ano de 2017/18, a adubação do tratamento DV estava atrasada e a amostragem de solo foi realizada entre a segunda e terceira adubações. Tal manejo pode ter afetado o mapa de nutrientes presentes no solo desse tratamento, uma vez que depois da realização da amostragem, ainda foram aportados insumos nos talhões desse tratamento, o que não ocorreu nos talhões DF. Os menores níveis ficam evidentes ao analisar a Figura 14. Nos anos de 2013/14 e 2014/15, as médias dos teores de K no solo do tratamento DV chegaram a ser duas vezes maiores ao DF, ficando entre $1,7 \text{ mmol}_e \text{ dm}^{-3}$ e $2 \text{ mmol}_e \text{ dm}^{-3}$, níveis considerados médios para a cultura da laranja segundo Raij et al. (1997). Ao analisar a média de K no solo no período de 2011 a 2018, o tratamento DV apresentou valores superiores ao DF, cerca de $1,33 \text{ mmol}_e \text{ dm}^{-3}$ e o DF, $1,02 \text{ mmol}_e \text{ dm}^{-3}$. Os mapas de K, semelhante aos de P, também não apresentaram relação com o mapa de textura do solo da área do experimento. Nos mapas dos anos 2013/14 e 2014/15 vê-se o efeito positivo da adubação com doses variáveis quando se analisa os níveis de teores presentes nos solos.

Figura 14 - Mapas de teores de potássio no solo nos talhões do experimento.

Figura 15 - Percentual das áreas classificadas como teores "muito baixo", "baixo", "médio" e "alto" para os níveis de K no solo nos tratamentos DF e DV.

Os valores de V% nos solos nos primeiros dois anos do experimento estavam classificados predominantemente como "Baixo", chegando a atingir em 2013/14 valores classificados como "Muito Baixo" (Figura 16 e Figura 17). O valor de V% para a cultura da laranja é de 70% (RAIJ et al. 1997) e com o passar dos anos ambos os tratamentos atingiram valores próximos ou superiores a esse, chegando em 2017/18 a níveis elevados nos solos, classificados como "Alto". De maneira geral, os talhões DV estavam com médias de V% mais elevadas no solo quando comparadas ao DF, com exceção dos anos 2014/15 e 2016/17 (Figura 17).

Em relação à variabilidade espacial dos nutrientes, não foram encontrados padrões que se repetem ao longo dos anos para P, K e V% em ambos os tratamentos, também não foram encontradas relações destas manchas com os mapas de argila, altitude e condutividade elétrica das áreas. Um dos fatores que explicam este fato é a alta fixação e imobilização destes nutrientes nos solos, uma vez que a variabilidade dentro dos talhões e os valores de alcance geralmente são baixos. Tal fato indica que seria necessário grades amostrais mais densas para conseguir representar possíveis padrões. A dinâmica de nutrientes no solo é uma questão um tanto quanto complexa de ser analisada, e somente a análise de P, K e V% nos solos não foi suficiente para a identificação de padrões de fertilidade.

Figura 16 - Mapas de teores de V% no solo nos talhões do experimento.

Figura 17 - Percentual das áreas classificadas como teores “muito baixo”, “baixo”, “médio” e “alto” para os níveis de V% no solo nos tratamentos DF e DV.

4.5. Produtividade

Analisando as produtividades do experimento é evidente seu crescimento no decorrer dos anos, o que já era esperado, explicado pelo fato dos pomares estarem em fase de crescimento (Tabela 9). No ano de 2011, os pomares estavam com três anos de idade.

Tabela 9 – Estatística descritiva e análise de médias dos dados de produtividade de 2012/13 a 2017/18 no experimento da fazenda Rio Pardo.

Ano	Quadra	Trat.	Área (ha)	n	Mín.	Máx.	DP	CV (%)	Produção total (t)	Prod. Méd. (t ha ⁻¹)	Média (t ha ⁻¹)	(DV-DF/DF)
2012/13	2	DF*	25,0	2320,0	10,91	39,31	5,07	29,80	425,33	17,01	20,33b	26%
	4		25,0	2528,0	19,54	36,07	2,96	11,40	649,00	25,96		
	6		25,0	2504,0	21,97	32,82	1,91	7,48	638,00	25,52		
	8		23,1	2528,0	8,58	25,74	3,60	20,48	406,10	17,58		
	10		25,0	2531,0	12,81	20,59	1,30	8,34	389,48	15,58		
	1	DV*	25,0	2626,0	15,95	31,43	3,61	15,72	574,00	22,96	25,63a	
	3		25,0	2642,0	17,57	41,81	3,74	13,45	695,28	27,81		
	5		25,0	2627,0	19,99	40,15	3,77	12,18	773,50	30,94		
	7		25,0	2638,0	23,80	48,49	4,60	14,14	813,08	32,52		
	9		25,0	2650,0	10,81	21,12	1,91	13,71	348,25	13,93		
2013/14	2	DF*	25,0	2320,0	14,71	30,31	2,45	12,03	509,20	20,37	27,87b	7%
	4		25,0	2528,0	24,15	47,78	4,13	12,40	832,50	33,30		
	6		25,0	2504,0	19,78	38,84	4,13	14,86	694,90	27,80		
	8		23,1	2528,0	17,96	41,26	4,75	17,65	621,62	26,91		
	10		25,0	2531,0	25,67	43,00	3,33	10,75	774,75	30,99		
	1	DV*	25,0	2626,0	22,95	29,19	1,49	5,72	651,08	26,04	29,77a	
	3		25,0	2642,0	22,54	70,58	7,94	21,45	925,60	37,02		
	5		25,0	2627,0	23,16	38,62	3,06	9,69	789,20	31,57		
	7		25,0	2638,0	25,61	46,10	4,19	12,66	827,50	33,10		
	9		25,0	2650,0	17,07	27,27	1,68	7,96	527,75	21,11		
2014/15	2	DF*	25,0	2320,0	23,08	40,83	3,49	11,64	749,68	29,99	44,71a	-15%
	4		25,0	2528,0	29,15	102,45	9,92	20,32	1220,20	48,81		
	6		25,0	2504,0	35,98	76,37	8,31	15,77	1317,75	52,71		
	8		23,1	2528,0	26,20	128,26	13,71	28,49	1111,64	48,12		
	10		25,0	2531,0	34,71	59,73	4,82	10,97	1097,95	43,92		
	1	DV*	25,0	2626,0	28,80	57,65	4,68	10,58	1105,50	44,22	37,92b	

	3		25,0	2642,0	24,79	66,40	7,85	20,02	980,25	39,21		
	5		25,0	2627,0	23,10	38,42	2,67	9,11	732,75	29,31		
	7		25,0	2638,0	32,21	53,06	3,66	8,93	1024,78	40,99		
	9		25,0	2650,0	26,98	47,13	3,67	10,23	897,18	35,89		
2015/16	2		25,0	2320,0	42,11	101,64	6,06	11,75	1289,75	51,59		
	4		25,0	2528,0	25,47	51,10	4,98	14,74	844,70	33,79		
	6	DF*	25,0	2504,0	19,97	58,91	8,80	21,84	1007,25	40,29	37,50b	
	8		23,1	2528,0	24,29	45,87	4,16	12,83	748,90	32,42		
	10		25,0	2531,0	24,63	39,98	2,98	10,14	735,00	29,40		
	1		25,0	2626,0	28,65	52,39	6,22	16,19	960,48	38,42		16%
	3		25,0	2642,0	34,60	54,81	3,58	8,43	1061,43	42,46		
	5	DV*	25,0	2627,0	35,25	55,52	3,36	7,82	1074,10	42,96	43,33a	
	7		25,0	2638,0	34,46	70,06	6,74	12,97	1299,33	51,97		
	9		25,0	2650,0	28,19	57,16	5,01	12,27	1021,00	40,84		
2016/17	2		25,0	2320,0	25,31	46,39	4,10	11,27	909,75	36,39		
	4		25,0	2528,0	32,97	103,58	12,15	21,28	1427,25	57,09		
	6	DF*	25,0	2504,0	43,29	81,12	7,20	13,13	1370,50	54,82	50,98a	
	8		23,1	2528,0	28,75	80,74	8,36	19,21	1005,54	43,53		
	10		25,0	2531,0	37,74	102,79	15,34	24,33	1576,23	63,05		
	1		25,0	2626,0	19,87	60,72	6,48	20,04	808,50	32,34		-11%
	3		25,0	2642,0	24,92	58,04	5,30	13,74	964,00	38,56		
	5	DV*	25,0	2627,0	32,18	113,84	9,07	16,07	1411,30	56,45	45,14b	
	7		25,0	2638,0	27,95	85,02	7,84	15,88	1234,50	49,38		
	9		25,0	2650,0	14,86	112,96	14,24	29,08	1224,10	48,96		
2017/18	2		25,0	2320,0	27,95	392,33	58,37	88,84	1642,50	65,70		
	4		25,0	2528,0	48,71	137,98	14,50	18,45	1964,45	78,58		
	6	DF*	25,0	2504,0	47,48	119,62	11,95	14,83	2014,50	80,58	75,15b	21%
	8		23,1	2528,0	38,25	157,47	14,19	19,41	1688,79	73,11		
	10		25,0	2531,0	54,02	113,84	13,29	17,09	1944,00	77,76		

1		25,0	2626,0	17,13	280,75	38,64	50,64	1907,63	76,31	
3		25,0	2642,0	55,71	192,55	22,60	20,85	2710,10	108,40	
5	DV*	25,0	2627,0	77,19	125,39	8,11	8,11	2499,45	99,98	91,14a
7		25,0	2638,0	47,69	174,37	13,55	16,64	2036,00	81,44	
9		25,0	2650,0	59,17	155,49	16,50	18,42	2239,20	89,57	

* Diferença estatística entre as médias dos tratamentos ao nível de 5% de significância; letras iguais não diferem estatisticamente a nível de 5% de significância para o mesmo ano.

Na colheita do ano de 2012/13, o tratamento DV apresentou a maior diferença de produtividade entre os tratamentos no experimento, representando um aumento médio de 26% em relação ao DF, o que correspondeu a uma média de 25,63 t ha⁻¹ e 20,33 t ha⁻¹, respectivamente. No ano de 2013/14 e 2015/16 o tratamento DV produziu 7% e 16% mais frutos do que o DF, respectivamente. Já em 2014/15 e 2016/17 a situação inverteu e o tratamento DF apresentou produção 15% e 11% maior em relação ao DV, respectivamente.

Em 2017/18, a última colheita do experimento, os valores voltaram a ser maiores no tratamento DV, cerca de 21% a mais, representando uma produção de 91,14 t ha⁻¹ contra 75,15 t ha⁻¹ para o tratamento DF. Analisando os valores médios dos tratamentos de 2012 a 2018, nestes seis anos avaliados, tem-se o tratamento DV produzindo cerca de 45,49 t ha⁻¹ e o tratamento DF 42,76 t ha⁻¹, o que representa cerca de 6,4% a mais de frutas no período avaliado. Os resultados estatísticos apresentaram diferenças ao nível 5% de significância em todos os anos avaliados. Durante os seis anos avaliados, o tratamento DV produziu em média 2,74 t ha⁻¹ de frutas de laranja a mais quando comprado com o DF.

O aumento de produção de laranja no último ano do experimento está relacionado à idade dos pomares em ambos os tratamentos, e também está relacionado ao volume de chuvas no período, sendo que ambos os tratamentos responderam positivamente a maior quantidade de água e nutrientes disponíveis no solo, segundo os mapas de fertilidade e balanço hídrico da região.

Analisando o CV da produtividade dos tratamentos, pouca diferença é encontrada entre os valores médios dos talhões, porém, o tratamento DV apresentou menores valores em cinco dos seis anos avaliados, o que pode indicar uma maior uniformidade na produção deste tratamento.

Figura 18 - Mapas de produtividade em relação à média de cada talhão dos anos de 2012/13 a 2017/18.

Na Figura 19 são apresentados os mapas da média de 2012/13 a 2017/18 da produtividade relativa a média dos talhões do tratamento DF e DV. Em todos os talhões, em ambos os tratamentos, são evidenciadas regiões que em média são mais produtivas ou menos produtivas. Tais regiões encontradas remetem que existe variabilidade na produção na área de estudo que devem ser melhor investigadas e exploradas.

Figura 19 - Média dos mapas de produtividade em relação à média dos anos de 2012/13 a 2017/18

Analisando a Figura 20, algumas regiões dos talhões apresentaram altos valores de coeficientes de variação, a exemplo do talhão 1 (DV) e talhão 2 (DF). Os altos valores do CV, em princípio, refletem instabilidade temporal de zonas mais produtivas ou menos produtivas, mas também podem representar possíveis causas localizadas, incluindo problemas com a coleta de dados. Analisando a Figura 18, o ano de 2017/18 apresentou padrões de produção diferentes, que não se repetiram ao longo dos seis anos analisados. Mais dados de monitoramento seriam necessários, além de investigação a campo para checar possíveis causas pela variação na produção nesses locais.

Figura 20 - Mapa do coeficiente de variação dos mapas de produtividade em relação à média dos anos de 2012/13 a 2017/18

Figura 21 – Precipitação na fazenda durante os anos do experimento.

Analisando a Figura 21, nota-se o aumento da precipitação total no ano de 2017 na fazenda. As maiores precipitações, associadas aos melhores valores de V% e nutrientes presentes nos solos de ambos os tratamentos (DF e DV), proporcionaram aumento expressivo nos valores dos mapas de produtividade da Figura 18. Os pomares estão em fase de crescimento e ainda não estabilizaram suas produções, portanto, seria indicada a continuidade das avaliações.

4.6. Eficiência dos insumos

A eficiência do uso de fertilizantes, como utilizado por Colaço e Molin (2016), é a razão entre os valores que foram produzidos de laranja em cada tratamento com o que foi aplicado de insumos em cada ano. Ao analisar a eficiência do uso de fertilizantes para ambos os tratamentos, percebe-se que de maneira geral, em todos os anos a eficiência do uso dos fertilizantes nitrogenados foi maior no tratamento DV do que no DF, chegando a ser 19% mais eficiente, segundo a Figura 22. Os fertilizantes fosfatados foram aplicados em maiores quantidades nos primeiros anos nos talhões do tratamento DV, porém na medida em que a fertilidade do solo atingiu níveis altos, como demonstrado na Figura 13, para os anos 2015/16 e 2016/17, as aplicações de P_2O_5 nos talhões deste tratamento foram reduzidas. Analisando os dados da Tabela 7, nota-se que a aplicação de P_2O_5 do ano de 2016/17 foi 117% menor para o tratamento DV, quando comparada com o tratamento DF, e a eficiência deste elemento neste mesmo ano foi 115% superior no tratamento em doses variadas. Os dados de P_2O_5 refletem que com o passar dos anos e as maiores aplicações iniciais deste elemento no tratamento DV, seus valores no solo aumentaram, sendo que a partir dos anos 2014/15 as eficiências deste elemento foram sempre superiores no tratamento DV (Figura 22). No caso do potássio, o tratamento DF aplicou menos insumos e com exceção do ano 2014/15, todas as eficiências desse elemento também foram maiores para este tratamento.

Figura 22 - Eficiência do uso de fertilizantes e corretivos nos tratamentos.

O calcário seguiu uma tendência de maiores aplicações nos primeiros anos do experimento no tratamento DV, como mostra a Figura 10. Porém, no ano de 2015/16 em diante, os valores de aplicação foram reduzidos, o que fez com que a eficiência deste elemento alcançasse valores da ordem de 717% superiores quando comparados com o DF.

4.7. Avaliação geral

O experimento possibilitou a aquisição de um banco de dados consistentes passíveis de serem analisados como ferramenta de avaliação dos tratamentos. De modo geral, ambos os tratamentos apresentaram valores de alcance de semivariogramas menores que os valores da grade amostral utilizada. Para o caso do K, P e V%, os mapas gerados apresentaram 39%, 36% e 61%, respectivamente, de alcances maiores que 100 m, sendo necessário grades amostrais mais densas para melhor expressar a dependência espacial entre as amostras.

O tratamento em DV apresentou valores aplicados de N no solo iguais aos do tratamento DF, porém a aplicação destes insumos em doses variadas apresentou maiores eficiências em todos os anos avaliados, chegando a atingir reduções de 16% dos valores aplicados no ano de 2013/14. Reduções do uso de insumos nitrogenados também foram encontrados em estudos realizados por Colaço e Molin (2016) em pomares de citros.

Para o caso do P, os valores totais aplicados no tratamento DV nos seis anos do experimento foram 2% maiores do que no tratamento DF. Porém, além de serem aplicados de maneira mais eficiente, os valores finais médios encontrados no solo também foram maiores.

No caso do K, as aplicações do tratamento DV e os valores médios presentes nos solos foram 27% e 23% maiores, respectivamente, porém as eficiências agronômicas desse elemento foram menores (cerca de 20% a menos no valor acumulado de 2011/12 a 2016/17).

No caso do calcário, os valores aplicados foram menores no tratamento DV durante os anos avaliados (cerca de 24%) e, além disso, a aplicação em doses variadas foi 29% mais eficiente nesse estudo.

Em relação aos insumos aplicados, o tratamento em doses variadas não proporcionou reduções significativas de fertilizantes nitrogenados e potássicos, como são encontrados na literatura por Aggelopoulou et al. (2010), Faulin (2010) e Colaço e Molin (2016).

A produtividade no tratamento DV foi maior quando comparada ao tratamento DF e nas comparações entre os anos; em quatro safras o tratamento DV apresentou maiores produtividades, chegando a aumentos de 26% de produção de frutas no tratamento em doses variadas e cerca de 2,74 t ha⁻¹ na média dos seis anos avaliados. Nos anos em que os valores de produtividade avaliados foram maiores no DF (safras 2014/15 e 2016/17), os insumos foram utilizados de forma mais eficiente no tratamento DV (Figura 22), com exceção para o caso do K no ano 2016/17.

As regressões utilizadas para o cálculo das equações de recomendação de adubação utilizadas na metodologia desse trabalho, de Raij et al. (1997), são genéricas e globais e merecem ser revistas e substituídas por recomendações locais, que contemplem particularidades presentes nos pomares comerciais das diversas regiões produtoras, ou mesmo em nível de unidade de produção (fazenda).

Algumas abordagens não foram contempladas neste estudo. É o caso da análise de balanço de nutrientes presentes nos solos ao longo dos anos do experimento, o que possibilita avaliação da utilização do uso destes fertilizantes na agricultura, bem como sua relação com os avanços da produção. Além disso, avaliações econômicas da utilização da adubação em doses variadas também podem ser realizadas com o intuito de permitir a verificação de sua viabilidade, visto que maiores aportes financeiros são demandados para amostragem mais densa, equipamentos e processamento das informações.

5. CONCLUSÃO

A metodologia utilizada neste trabalho possibilitou a aquisição de um banco de dados robusto e passível de ser analisado e utilizado para avaliações da tecnologia de aplicação em doses variadas em pomares comerciais de citros.

As aplicações dos insumos P, K e N do tratamento DV não foram reduzidas quando comparadas às aplicações do tratamento DF. Analisando os valores médios dos nutrientes nos solos, apenas P e K se diferiram estatisticamente nos anos de 2013/14 e 2014/15, provavelmente devido a cortes gerenciais na adubação dos talhões DF, sendo que os maiores valores foram sempre encontrados no tratamento DV.

A produtividade acumulada total no tratamento DV foi maior quando comparada àquela do tratamento DF. Nas comparações entre os anos, em quatro safras o tratamento DV apresentou maiores produtividades que o DF, sendo diferentes estatisticamente (5%). O tratamento DV produziu 26% mais frutas no ano de maior diferença entre os tratamentos, chegando a uma produção total média de 2,74 t ha⁻¹ a mais que o DF durante os seis anos avaliados.

REFERÊNCIAS

- 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**, 12, 118–129. (2011).
- AKAIKE, H. Likelihood of a model and information criteria. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 16, n. 1, p. 3-14, 1981.
- BALASTREIRE, L. A. **Agricultura de precisão** / Luiz Antonio Balastreire, -- Piracicaba: L. A. Balastreire, 1998.
- BASSANEZI, R. B.; MONTESINO, L.H.; GASPAROTO, M.C.G.; BERGAMIN FILHO, A.; AMORIM, L. Yield loss caused by huanglongbing in diferente sweet Orange cultivars in São Paulo, Brazil. **European Journal of Plant Pathology**, Dordrecht, v. 130, n. 4 p. 577-586, 2011.
- BELASQUE JUNIOR, J.; BERGAMIN FILHO, A.; BASSANEZI, R. B.; BARBOSA, J. C.; FERNANDES, N. G.; YAMAMOTO, P. T.; LOPES, S. A.; MACHADO, M. A.; LEITE JUNIOR, R. P.; AYRES, A. J.; MASSARI, C. A. Base científica para a erradicação de plantas sintomáticas e assintomáticas de Huanglongbing (HLB, Greening) visando o controle efetivo da doença. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, DF, v. 34, n. 3, p. 137-145, 2009.
- 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.
- BONGIOVANNI, R.; LOWENBERG-DEBOER, J. Precision agriculture and sustainability. **Precision Agriculture**, Secaucus, v. 5, p. 359-387, 2004.
- BOTEON, M. (2012). **Cadeia Agroindustrial de Citros**. 14p. Disponível em: <http://cepea.esalq.usp.br/citros/cadeia_citros.pdf>. Acesso in: 02 de ago. 2016.
- BOTEON, M.; PAGLIUCA, L. G. Análise de 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**, [S. l.], v. 88, n. 1, p. 7-37, 2006.
- CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, L. 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.
- CARR, P.M.; CARLSON, G.R.; JACOBSEN, J.S.; NIELSON, G.A.; SKOGLEY, E.O. Farming soils, not fields: A strategy for increased fertilizer profitability. **J. Prod. Agric.** 4: 57-61, 1991.
- 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: 30 ago. 2016.
- COLAÇO, A. F. **Efeito da adubação em doses variadas em pomares de laranjeiras ao longo de quatro safras** (mestrado dissertation, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”). (2012).
- COLAÇO, A. F.; MOLIN, J. P. A five year study of variable rate fertilization in citrus. In: 12th INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, Sacramento. **Anais...** Sacramento: ISPA, 2014.
- COLAÇO, A. F., & MOLIN, J. P. Variable rate fertilization in citrus: a long term study. **Precision Agriculture**, 1-23. (2017)

- COLVIN, T.S.; JAYNES, D.D.B.; KARLEN, D.L.; LAIRD, D.A.; AMBUEL, J.R. Six year yield variability within a Central Iowa Field. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE AMERICAN SOCIETY OF AGRONOMY, Minneapolis, 1996. **Proceedings**. Minneapolis: ASA, CSSA, SSSA, 1996.
- EHSANI, T.; SANKARAN, S.; MAJA, J.M.; CAMARGO NETO, J. Affordable multi-rotor remote sensing platform applications in precision horticulture. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 11., Indianápolis. **Anais...** Indianápolis: ISPA, 2012. 1CD-ROM.
- ESQUERDO, J. C. D.; BALASTREIRE, L. A.; AMARAL, J. R. **Desenvolvimento de um sistema computacional para aplicação localizada de defensivos agrícolas**. In: 2004.
- 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 “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.
- FRANCO, L. Citricultor pode suspender o uso de fungicidas não aprovados nos EUA. **Globo Rural**, 06 fev., 2012. Disponível em: <<http://revistagloborural.globo.com/Revista/Common/0,EMI293290-18078,00CITRICULTOR+PODE+SUSPENDER+O+USO+DE+FUNGICIDAS+NAO+APROVADOS+NOS+EUA.html>>. Acesso em: 02 mar. 2012.
- FRIEDRICH, T. Quality in pesticide application technology. In: RAETANO, C.G.; ANTUNIASSI, U. R. **Qualidade em tecnologia de aplicação**. Botucatu: Fepaf, 2004. p. 93-109.
- FUNDECITRUS, 2016. **Greening / HLB** Disponível em: <<http://www.fundecitrus.com.br/doencas/greening/10>>. Acesso in: 02 de ago. 2016.
- FUNDECITROS - FUNDO DE DEFESA DA CITRICULTURA. Doenças e pragas. 2018. Disponível em: <<http://www.fundecitrus.com.br/doencas/greening/10>> Acesso em 06 de ago. 2018.
- GRIF, 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: 30 ago. 2016.
- 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.
- 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.
- GOERING, C.E. Recycling a concept. **Agricultural Engineering**, St. Joseph, p.25, Nov 1993.
- GOTTWALD, T. R.; GRAÇA, J. V.; BASSANEZI, R. B. Citrus huanglongbing: the pathogen and its impact. **Plant Health Progress**, PMN, 2007.
- KANE, K. E.; LEE, W. S. Multispectral imaging for In-field green citrus identification. In: 2007 ASABE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 2007, Minneapolis. **Anais...** Mineapolis: ASABE, 2007.
- KERRY, R.; OLIVER, M.A. Average variograms to guide soil sampling. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v.5, p.307-325, 2004.
- KOCH, B.; KHOSLA, R. The role of precision agriculture in cropping systems. **Journal of Crop Production**, Philadelphia, v. 9, p. 361-381, 2003.

- 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.
- MACHADO, P.L.O.A.; BERNARDI, A.C.C.; VALENCIA, L.I.O.; MOLIN, J.P.; GIMENEZ, L.; SILVA, C.A.; ANDRADE, A.G.; MADARI, B.E.; MEIRELLES, M.S.P. Mapeamento da condutividade elétrica do solo e relação com os teores de argila de um Latossolo Vermelho sob plantio direto no Paraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.41, n.6, p.1.023-1.031, 2006.
- 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.
- MOLIN, J.P. **Agricultura de precisão**. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, ACS. 2009.
- MOLIN, J.P.; CASTRO, C.N. Establishing management zones using soil electrical conductivity and other soil properties by the fuzzy clustering technique. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.65, p.567- 573, 2008.
- MOLIN, J.P.; COLAÇO, A.F.; CARLOS, E.F. Orange yield and plant gap mapping caused by disease. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 8., 2011. Praga. **Anais...** Praga: ISPA, 2011. 1 CD-ROM.
- MOLIN, J. P., do AMARAL, L. R., & COLAÇO, A. **Agricultura de precisão**. Oficina de Textos. (2015).
- MOLIN, J.P.; FAULIN, G.D.C. Spatial and temporal variability of soil electrical conductivity related to soil moisture. **Scientia Agricola**, v. 70, f. 1, p. 1-5, 2013.
- 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**, Maringá, 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**, Gains
- 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.
- NIELSEN, D. R.; BOUMA, J. Soil spatial variability. In Proc. Int. Soc. Soil Sci. & Soil Sci. Soc. Am. Workshop. Wageningen, Netherlands: PUDOC Publishers. 1984.
- OKABE A., BOOTS B., SUGIHARA K. Spatial Tessellations: Concepts and Applications of Voronoi Diagrams. John Wiley and Sons. 1999.
- OKAMOTO, H.; LEE, W. S. Green citrus detection using hyperspectral imaging. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 66, p. 201-208, 2009.
- OLIVER, M. (2010). Geostatistical application for precision agriculture. New York: Springer.
- 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.
- QUEIRÓS, L.R.; JUNIOR, A.L.; NETO, J.C.; MASSRUHÁ, S.M.F.S.; INAMASU, R.Y.; SPERANZA, E.A.; EVANGELISTA, S.R.M. Análise das possibilidades e tendências do uso das tecnologias da informação e comunicação em Agricultura de Precisão. **Embrapa Informática Agropecuária**. 2014.
- 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.; ETXEBERRIA, E. Mid-infrared spectroscopy for detection of Huanglongbing (greening) in citrus leaves. **Talanta**, Amsterdam, v. 83, n. 2, p. 574-81, 2010.

- 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.
- 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: 30 ago. 2016.
- SOBRINHO, A. P. da CUNHA et al. **Cultura dos citros** / editores técnicos. – Brasília, DF : Embrapa, 2013. 399p.
- SPEKKEN, M.; ANSELM, A.A.; MOLIN, J.P. A simple method for filtering spatial data. In: Stafford J.V. (eds) *Precision Agriculture*. **Wageningen Academic Publishers**, Wageningen, (2013)
- TUMBO, S.D.; SALYANI, M.; MILLER W.M; SWEET, R.; BUCHANON, S. Evaluation of a variable rate controller for aldicarb around buffer zones in citrus groves. **Computers and Electronic 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.
- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE - USDA. **Foreign Agricultural Service**. Citrus: World Markets and Trade. July 2016. 9p. Disponível em: <<http://usda.mannlib.cornell.edu/usda/current/citruswm/citruswm-07-20-2016.pdf>>. Acesso in: 26 de jul. 2016.
- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE - USDA. **Foreign Agricultural Service**. Citrus: World Markets and Trade. July 2016. 9p. Disponível em: <<http://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/citrus.pdf>>. Acesso in: 28 de jun. 2018.
- 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.
- 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.; WHEATON, T.; SALYANI, M.; & SCHUELLER, J. K. Precision farming applications in florida citrus. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 15, 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.
- 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**, v. 21, n. 3, p. 331-335, 2005.
- ZAMBOLIM, L.; CONCEIÇÃO, M.Z. da.; SANTIAGO, T. **O que os engenheiros agrônomos devem saber para orientar o uso de produtos fitossanitários**. 3. Ed. Viçosa: UFV/DFP, 2008. 464p.
- ZULIAN, A.; DORR, A. C.; ALMEIDA, S. C. Citricultura e agronegócio cooperativo no Brasil. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 11, n. 11, p.2290-2306, 2013.

APÊNDICES

Apêndice A – Semivariogramas dos teores de K no solo no ano de 2011/12

2011/12

DV

DF

1

2

3

4

5

6

7

8

Apêndice B – Semivariogramas dos teores de K no solo no ano de 2012/13

Apêndice C – Semivariogramas dos teores de K no solo no ano de 2013/14

Apêndice D – Semivariogramas dos teores de K no solo no ano de 2014/15

Apêndice E – Semivariogramas dos teores de K no solo no ano de 2015/16

Apêndice F – Semivariogramas dos teores de K no solo no ano de 2016/17

Apêndice G – Semivariogramas dos teores de K no solo no ano de 2017/18

Apêndice H – Semivariogramas dos teores de P no solo no ano de 2011/12

2011/12

DV

DF

1

2

3

4

5

6

7

8

Apêndice I – Semivariogramas dos teores de P no solo no ano de 2012/13

Apêndice J – Semivariogramas dos teores de P no solo no ano de 2013/14

Apêndice K – Semivariogramas dos teores de P no solo no ano de 2014/15

Apêndice L – Semivariogramas dos teores de P no solo no ano de 2015/16

Apêndice M – Semivariogramas dos teores de P no solo no ano de 2016/17

Apêndice N – Semivariogramas dos teores de P no solo no ano de 2017/18

Apêndice O – Semivariogramas dos teores de V% no solo no ano de 2011/12

2011/12

DV

DF

1

2

3

4

5

6

7

8

Apêndice P – Semivariogramas dos teores de V% no solo no ano de 2012/13

Apêndice Q – Semivariogramas dos teores de V% no solo no ano de 2013/14

Apêndice R – Semivariogramas dos teores de V% no solo no ano de 2014/15

Apêndice S – Semivariogramas dos teores de V% no solo no ano de 2015/16

Apêndice T – Semivariogramas dos teores de V% no solo no ano de 2016/17

Apêndice U – Semivariogramas dos teores de V% no solo no ano de 2017/18

Apêndice V – Semivariogramas dos dados de produtividade no ano de 2012/13

Apêndice W – Semivariogramas dos dados de produtividade no ano de 2013/14

Apêndice X – Semivariogramas dos dados de produtividade no ano de 2014/15

Apêndice Y – Semivariogramas dos dados de produtividade no ano de 2015/16

Apêndice Z – Semivariogramas dos dados de produtividade no ano de 2016/17

Apêndice AA – Semivariogramas dos dados de produtividade no ano de 2017/18

Mapas de produtividade dos anos de 2012/13 a 2017/18

Produtividade

Mapas de altimetria, média dos anos 2012 a 2016 e CV gerados com os dados de georreferenciamento dos sacolões na colheita dos anos 2012, 2013, 2015 e 2016.

Altimetria (m)

Média (2012-2016)

- Legenda
Altimetria (m)
- 588.0 - 602.4
 - 602.4 - 616.8
 - 616.8 - 631.2
 - 631.2 - 645.6
 - 645.6 - 660.2

CV (2012-2016)

- Legenda CV%
- 0.0 - 2.5
 - 2.5 - 3.8
 - 3.8 - 5.4
 - 5.4 - 8.6
 - 8.6 - 23.9

Mapas de condutividade elétrica aparente dos solos do experimento, realizado com o equipamento Veris 3100 no ano de 2014.

Condutividade Elétrica Aparente dos solos

0 – 0,30 m

0 – 0,90 m

Estatística descritiva dos teores de P, K e V% nos talhões DF e DV do experimento.

Ano	Tratamento	Quadra	Unidade	Nutriente	Média	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	CV (%)	Nível
2011/12	DF	2	mg dm ⁻³	P	21,8	9,0	47,0	9,8	44,9	Médio
			mmolc dm ⁻³	K	1,2	0,7	2,4	0,4	33,1	Baixo
			%	V%	46,9	33,0	70,0	9,1	19,5	Baixo
		4	mg dm ⁻³	P	29,5	13,0	87,0	19,5	66,1	Médio
			mmolc dm ⁻³	K	1,0	0,6	2,6	0,4	40,1	Baixo
			%	V%	41,1	18,0	62,0	10,6	25,8	Baixo
		6	mg dm ⁻³	P	17,3	8,0	37,0	7,3	42,2	Médio
			mmolc dm ⁻³	K	1,3	0,6	2,4	0,5	36,8	Baixo
			%	V%	47,0	33,0	61,0	8,1	17,2	Baixo
	DV	8	mg dm ⁻³	P	26,0	13,0	57,0	8,6	33,2	Médio
			mmolc dm ⁻³	K	1,1	0,5	2,1	0,4	35,8	Baixo
			%	V%	46,5	27,0	63,0	9,4	20,2	Baixo
		1	mg dm ⁻³	P	17,3	7,0	33,0	6,0	34,7	Médio
			mmolc dm ⁻³	K	1,2	0,8	2,5	0,4	31,2	Baixo
			%	V%	48,8	38,0	69,0	7,9	16,3	Baixo
		3	mg dm ⁻³	P	21,5	8,0	41,0	9,9	46,3	Médio
			mmolc dm ⁻³	K	1,4	0,9	2,8	0,4	27,8	Baixo
			%	V%	49,9	36,0	66,0	7,2	14,5	Baixo
		5	mg dm ⁻³	P	22,9	11,0	82,0	14,1	61,8	Médio
			mmolc dm ⁻³	K	1,0	0,5	1,7	0,3	31,2	Baixo
			%	V%	48,3	31,0	63,0	9,3	19,3	Baixo
		7	mg dm ⁻³	P	20,3	13,0	41,0	7,7	37,8	Médio
			mmolc dm ⁻³	K	1,3	0,8	2,5	0,4	31,2	Baixo

2012/13	DF		%	V%	46,9	39,0	60,0	6,2	13,1	Baixo
			mg dm ⁻³	P	10,0	5,0	19,0	3,4	34,6	Baixo
		2	mmolc dm ⁻³	K	0,4	0,1	0,7	0,2	35,9	M. Baixo
			%	V%	47,0	32,0	62,0	9,0	19,2	Baixo
			mg dm ⁻³	P	14,6	4,0	29,0	6,4	43,6	Médio
		4	mmolc dm ⁻³	K	0,9	0,5	1,6	0,3	30,8	Baixo
			%	V%	34,4	22,0	56,0	8,3	24,0	Baixo
			mg dm ⁻³	P	9,5	5,0	19,0	3,1	32,4	Baixo
		6	mmolc dm ⁻³	K	0,8	0,4	1,9	0,4	44,3	Baixo
			%	V%	44,6	34,0	59,0	6,1	13,7	Baixo
			mg dm ⁻³	P	10,2	5,0	26,0	4,7	46,2	Baixo
		8	mmolc dm ⁻³	K	0,6	0,1	1,1	0,2	39,7	M. Baixo
	DV		%	V%	44,9	32,0	75,0	9,8	21,7	Baixo
			mg dm ⁻³	P	17,0	9,0	28,0	4,5	26,5	Médio
		10	mmolc dm ⁻³	K	0,6	0,3	1,4	0,3	44,2	M. Baixo
			%	V%	53,0	42,0	65,0	5,8	10,9	Médio
			mg dm ⁻³	P	10,8	4,0	18,0	3,9	36,1	Baixo
		1	mmolc dm ⁻³	K	0,7	0,5	1,3	0,2	26,5	M. Baixo
			%	V%	43,3	28,0	54,0	7,0	16,2	Baixo
			mg dm ⁻³	P	15,2	7,0	32,0	5,1	33,9	Médio
		3	mmolc dm ⁻³	K	0,7	0,4	1,8	0,3	45,9	M. Baixo
			%	V%	53,8	34,0	70,0	8,9	16,5	Médio
			mg dm ⁻³	P	9,8	4,0	18,0	3,3	34,0	Baixo
		5	mmolc dm ⁻³	K	0,7	0,4	1,5	0,2	32,9	M. Baixo
			%	V%	47,8	16,0	68,0	11,4	23,8	Baixo

2013/14	DF	7	mg dm ⁻³	P	18,5	7,0	43,0	7,5	40,7	Médio
			mmolc dm ⁻³	K	1,3	0,5	2,5	0,5	36,7	Baixo
			%	V%	40,0	24,0	66,0	10,9	27,3	Baixo
		9	mg dm ⁻³	P	14,8	10,0	24,0	2,7	18,3	Médio
			mmolc dm ⁻³	K	0,5	0,1	1,1	0,2	50,8	M. Baixo
			%	V%	50,2	23,0	61,0	7,6	15,2	Médio
		2	mg dm ⁻³	P*	12,6b	6,0	28,2	4,5	35,8	Médio
			mmolc dm ⁻³	K*	0,6b	0,2	1,4	0,2	38,4	M. Baixo
			%	V%	29,2	17,5	43,6	7,2	24,6	Baixo
	DV	4	mg dm ⁻³	P*	24,4b	9,6	43,0	10,1	41,4	Médio
			mmolc dm ⁻³	K*	1,0b	0,4	1,7	0,3	33,1	Baixo
			%	V%	26,5	10,0	53,7	9,0	33,9	Baixo
		6	mg dm ⁻³	P*	18,2b	9,6	30,0	5,5	30,2	Médio
			mmolc dm ⁻³	K*	0,8b	0,5	1,3	0,2	26,9	Baixo
			%	V%	25,2	14,1	43,1	6,8	26,8	M. Baixo
		8	mg dm ⁻³	P*	24,1b	10,8	50,8	10,8	44,8	Médio
			mmolc dm ⁻³	K*	1,1b	0,6	1,7	0,3	29,7	Baixo
			%	V%	43,4	26,3	83,5	12,0	27,7	Baixo
		10	mg dm ⁻³	P*	22,2b	12,0	33,6	5,5	24,8	Médio
			mmolc dm ⁻³	K*	0,9b	0,5	1,5	0,3	31,2	Baixo
			%	V%	29,0	18,1	44,2	6,3	21,7	Baixo
		1	mg dm ⁻³	P*	39,6a	27,4	61,0	9,0	22,8	Alto
			mmolc dm ⁻³	K*	2,2a	1,0	3,8	0,6	26,9	Médio
			%	V%	36,7	24,6	63,7	8,3	22,7	Baixo
		3	mg dm ⁻³	P*	28,7a	18,6	57,0	9,1	31,6	Médio

2014/15	DF		mmolc dm ⁻³	K*	1,9a	1,0	3,1	0,5	26,7	Médio
			%	V%	28,2	10,0	50,0	11,4	40,6	Baixo
		5	mg dm ⁻³	P*	36,6a	18,6	63,0	12,8	34,9	Alto
			mmolc dm ⁻³	K*	2,0a	1,1	3,2	0,4	21,7	Médio
			%	V%	45,4	20,1	65,1	11,1	24,5	Baixo
		7	mg dm ⁻³	P*	31,8a	11,0	57,8	10,4	32,5	Alto
			mmolc dm ⁻³	K*	2,2a	1,2	3,2	0,5	23,5	Médio
			%	V%	26,8	17,6	45,8	6,4	23,8	Baixo
		9	mg dm ⁻³	P*	32,0a	17,2	50,6	8,0	25,1	Alto
			mmolc dm ⁻³	K*	2,0a	1,2	2,8	0,4	20,2	Médio
			%	V%	31,7	24,1	44,3	6,0	18,9	Baixo
		2	mg dm ⁻³	P*	18,3b	9,0	50,0	7,4	40,6	Médio
			mmolc dm ⁻³	K*	0,9b	0,4	1,6	0,3	36,6	Baixo
			%	V%	49,4	34,0	71,8	9,1	18,4	Baixo
		4	mg dm ⁻³	P*	19,2b	11,5	34,5	6,4	33,5	Médio
			mmolc dm ⁻³	K*	0,8b	0,3	1,2	0,2	29,1	M. Baixo
			%	V%	39,8	7,8	76,1	14,3	35,9	Baixo
		6	mg dm ⁻³	P*	21,2b	11,3	32,0	5,9	27,9	Médio
			mmolc dm ⁻³	K*	0,8b	0,4	2,3	0,4	47,2	Baixo
			%	V%	48,8	28,9	67,3	10,3	21,0	Baixo
		8	mg dm ⁻³	P*	20,3b	11,8	38,0	6,9	33,9	Médio
			mmolc dm ⁻³	K*	0,8b	0,4	1,6	0,3	40,5	Baixo
			%	V%	45,5	23,1	94,4	15,2	33,4	Baixo
		10	mg dm ⁻³	P*	25,8b	14,0	45,0	8,5	32,7	Médio
			mmolc dm ⁻³	K*	1,0b	0,6	1,9	0,3	31,5	Baixo

2015/16	DV	1	%	V%	44,6	29,5	74,1	9,6	21,5	Baixo
			mg dm ⁻³	P*	25,1a	12,5	43,3	7,3	28,9	Médio
			mmolc dm ⁻³	K*	1,6a	0,7	3,1	0,6	35,6	Baixo
		3	%	V%	34,5	19,3	56,6	8,9	25,7	Baixo
			mg dm ⁻³	P*	30,2a	21,8	45,5	6,1	20,1	Alto
			mmolc dm ⁻³	K*	2,2a	1,0	2,9	0,6	28,7	Médio
		5	%	V%	49,5	31,2	65,2	10,6	21,4	Baixo
			mg dm ⁻³	P*	29,4a	17,0	51,5	9,8	33,3	Médio
			mmolc dm ⁻³	K*	1,2a	0,6	1,9	0,3	26,6	Baixo
		7	%	V%	46,5	30,3	68,4	8,5	18,3	Baixo
			mg dm ⁻³	P*	25,8a	14,3	37,5	6,4	25,0	Médio
			mmolc dm ⁻³	K*	1,3a	0,9	2,3	0,3	25,3	Baixo
		9	%	V%	40,3	25,1	57,2	9,2	22,8	Baixo
			mg dm ⁻³	P*	30,0a	16,0	49,8	8,1	27,0	Alto
			mmolc dm ⁻³	K*	2,4a	0,8	5,8	1,1	46,0	Médio
		2	%	V%	40,1	28,8	56,0	8,2	20,4	Baixo
			mg dm ⁻³	P	48,7	29,0	70,0	13,5	27,7	Alto
			mmolc dm ⁻³	K	1,2	0,5	1,9	0,4	30,9	Baixo
2015/16	DF	4	%	V%	75,0	57,0	86,0	6,3	8,4	Alto
			mg dm ⁻³	P	44,6	22,0	69,0	11,9	26,7	Alto
			mmolc dm ⁻³	K	1,2	0,5	2,0	0,3	25,0	Baixo
		6	%	V%	44,1	21,0	62,0	11,0	24,9	Baixo
			mg dm ⁻³	P	64,6	49,0	86,0	10,6	16,4	Alto
			mmolc dm ⁻³	K	1,2	0,9	2,1	0,3	26,0	Baixo
		8	%	V%	72,1	46,0	87,0	9,6	13,3	Alto
			mg dm ⁻³	P	41,0	25,0	75,0	12,1	29,5	Alto

2016/17	DV	10	mmolc dm ⁻³	K	1,1	0,6	1,6	0,3	24,6	Baixo
			%	V%	52,2	32,0	77,0	11,4	21,8	Médio
			mg dm ⁻³	P	40,2	22,0	62,0	11,2	28,0	Alto
		1	mmolc dm ⁻³	K	1,1	0,6	1,7	0,3	25,0	Baixo
			%	V%	57,7	40,0	72,0	9,0	15,5	Médio
			mg dm ⁻³	P	51,1	33,0	71,0	11,0	21,6	Alto
		3	mmolc dm ⁻³	K	1,7	1,2	2,5	0,4	20,6	Médio
			%	V%	73,3	57,0	82,0	7,4	10,1	Alto
			mg dm ⁻³	P	48,9	28,0	78,0	14,0	28,5	Alto
		5	mmolc dm ⁻³	K	1,3	0,7	1,8	0,3	23,1	Baixo
			%	V%	64,4	41,0	81,0	9,6	14,9	Médio
			mg dm ⁻³	P	40,2	27,0	64,0	9,9	24,7	Alto
		7	mmolc dm ⁻³	K	0,9	0,6	1,5	0,2	20,7	Baixo
			%	V%	53,8	35,0	76,0	11,7	21,8	Médio
			mg dm ⁻³	P	62,5	43,0	84,0	11,3	18,1	Alto
		9	mmolc dm ⁻³	K	1,4	0,6	2,7	0,4	28,9	Baixo
			%	V%	71,9	49,0	86,0	9,2	12,8	Alto
			mg dm ⁻³	P	42,6	30,0	56,0	7,3	17,2	Alto
	DF	2	mmolc dm ⁻³	K	0,8	0,5	1,3	0,2	28,3	Baixo
			%	V%	53,1	32,0	70,0	10,3	19,4	Médio
			mg dm ⁻³	P	18,2	10,0	39,0	5,9	32,5	Médio
			mmolc dm ⁻³	K	0,5	0,2	1,0	0,2	41,1	M. Baixo
			%	V%	52,0	26,0	74,0	12,9	24,8	Médio
			mg dm ⁻³	P	37,6	12,0	69,0	13,6	36,1	Alto
4	mmolc dm ⁻³	K	1,1	0,6	3,1	0,5	42,8	Baixo		
	%	V%	46,3	22,0	94,0	15,5	33,4	Baixo		

DV	6	mg dm ⁻³	P	18,6	11,0	37,0	6,0	32,3	Médio	
		mmolc dm ⁻³	K	0,7	0,3	1,4	0,3	41,9	M. Baixo	
		%	V%	56,0	35,0	77,0	11,4	20,3	Médio	
	8	mg dm ⁻³	P	45,7	18,0	164,0	26,9	58,8	Alto	
		mmolc dm ⁻³	K	1,5	1,1	2,3	0,3	22,1	Baixo	
		%	V%	55,4	31,0	77,0	9,8	17,7	Médio	
	10	mg dm ⁻³	P	40,2	12,0	70,0	16,8	41,8	Alto	
		mmolc dm ⁻³	K	0,9	0,4	1,7	0,3	32,9	Baixo	
		%	V%	54,2	30,0	77,0	14,0	25,8	Médio	
	1	mg dm ⁻³	P	30,6	13,0	52,0	10,3	33,9	Alto	
		mmolc dm ⁻³	K	1,0	0,7	1,6	0,2	33,9	Baixo	
		%	V%	45,8	24,0	67,0	11,5	25,2	Baixo	
	3	mg dm ⁻³	P	28,6	12,0	51,0	11,2	39,3	Médio	
		mmolc dm ⁻³	K	0,7	0,3	1,1	0,2	26,7	M. Baixo	
		%	V%	40,2	14,0	66,0	12,4	30,7	Baixo	
	5	mg dm ⁻³	P	29,7	16,0	51,0	8,9	29,9	Médio	
		mmolc dm ⁻³	K	1,3	0,8	1,8	0,3	24,4	Baixo	
		%	V%	50,3	28,0	75,0	11,6	23,0	Médio	
	7	mg dm ⁻³	P	45,6	35,0	63,0	7,9	17,4	Alto	
		mmolc dm ⁻³	K	1,4	0,8	2,0	0,3	21,0	Baixo	
		%	V%	45,3	28,0	63,0	10,3	22,8	Baixo	
	9	mg dm ⁻³	P	42,9	32,0	71,0	10,2	23,7	Alto	
		mmolc dm ⁻³	K	1,4	0,9	2,2	0,4	25,2	Baixo	
		%	V%	56,4	34,0	73,0	9,6	17,1	Médio	
2017/18	DF	2	mg dm ⁻³	P	14,6	7,0	31,0	6,1	41,5	Médio

DV	4	mmol _c dm ⁻³	K	1,1	0,9	2,3	0,4	32,2	Baixo
		%	V%	81,2	69,0	89,0	5,2	6,4	Alto
		mg dm ⁻³	P	23,9	15,0	34,0	6,2	25,9	Médio
		mmol _c dm ⁻³	K	1,7	1,1	2,8	0,4	24,5	Médio
		%	V%	69,7	38,0	84,0	10,6	15,3	Médio
		mg dm ⁻³	P	25,8	15,0	44,0	6,8	26,5	Médio
		mmol _c dm ⁻³	K	1,5	0,9	2,1	0,4	26,7	Baixo
		%	V%	80,1	59,0	86,0	6,1	7,7	Alto
		mg dm ⁻³	P	30,0	21,0	51,0	7,1	23,8	Alto
		mmol _c dm ⁻³	K	1,8	1,0	2,6	0,5	27,7	Médio
		%	V%	72,8	55,0	87,0	7,0	9,6	Alto
		mg dm ⁻³	P	28,1	12,0	45,0	8,3	29,5	Médio
	10	mmol _c dm ⁻³	K	1,3	0,9	1,8	0,3	21,0	Baixo
		%	V%	78,6	65,0	87,0	6,0	7,7	Alto
		mg dm ⁻³	P	31,0	10,0	60,0	11,8	38,0	Alto
	1	mmol _c dm ⁻³	K	1,2	0,6	2,1	0,4	30,7	Baixo
		%	V%	78,2	44,0	89,0	9,2	11,8	Alto
		mg dm ⁻³	P	24,8	11,0	49,0	10,3	41,5	Médio
	3	mmol _c dm ⁻³	K	1,4	0,6	2,7	0,6	44,6	Baixo
		%	V%	71,4	57,0	85,0	8,8	12,3	Alto
		mg dm ⁻³	P	30,6	16,0	48,0	10,2	33,4	Alto
	5	mmol _c dm ⁻³	K	1,2	0,6	2,0	0,4	30,7	Baixo
		%	V%	77,8	66,0	85,0	4,9	6,2	Alto
		mg dm ⁻³	P	28,2	13,0	59,0	11,6	40,9	Médio
	7	mmol _c dm ⁻³	K	0,9	0,5	1,3	0,2	25,7	Baixo

		%	V%	76,2	60,0	85,0	7,1	9,3	Alto
		mg dm ⁻³	P	40,0	22,0	56,0	9,8	24,5	Alto
9		mmolc dm ⁻³	K	0,8	0,3	1,4	0,3	34,2	M. Baixo
		%	V%	71,6	62,0	82,0	5,8	8,1	Alto

* Diferença estatística entre as médias dos tratamentos ao nível de 5% de significância; letras iguais não diferem estatisticamente a nível de 5% de significância para o mesmo ano.