**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA**

MIRIAM HARUMI OKUMURA

**Uso de geoestatística para aprimorar o controle de pragas na
citricultura**

**São Paulo
2007**

MIRIAM HARUMI OKUMURA

**USO DE GEOESTATÍSTICA PARA APRIMORAR O
CONTROLE DE PRAGAS NA CITRICULTURA**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do Título de
Mestre em Engenharia

Área de Concentração:
Engenharia Mineral

Orientador:
Prof.:Giorgio de Tomi

**SÃO PAULO
2007**

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTES TRABALHOS, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

FICHA CATALOGRÁFICA

Okumura, Miriam Harumi

**Uso de geoestatística para aprimorar o controle de pragas na citricultura / M.H. Okumura. -- São Paulo, 2007.
65 p.**

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo.

**1.Geoestatística 2.Citricultura 3.Controle de pragas 4.Mine-
ração I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Depar-
tamento de Engenharia de Minas e de Petróleo II.t.**

FOLHA DE APROVAÇÃO

Miriam Harumi Okumura
Engenharia Mineral

Dissertação apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para obtenção
do Título de Mestre.
Área de Concentração: Engenharia Mineral

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr.

Instituição:

Assinatura:

Prof. Dr.

Instituição:

Assinatura:

Prof. Dr.

Instituição:

Assinatura:

Prof. Dr.

Instituição:

Assinatura:

DEDICO...

...aos meus pais Osvaldo e Laura por acreditarem no meu potencial,

Às minhas irmãs Karen e Helen pela compreensão e apoio.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador e amigo Prof. Giorgio de Tomi, pela oportunidade e pelos ensinamentos que contribuíram para meu crescimento científico e intelectual.

Ao Prof. João Felipe Costa, pelos ensinamentos e sugestões de grande importância para a conclusão dessa pesquisa.

À Escola Politécnica, pela oportunidade de realização do curso de mestrado.

À CAPES pela concessão da bolsa de mestrado.

Às empresas CITROVITA e DATAMINE pelo apoio e oportunidade de desenvolver esse projeto de pesquisa.

Aos amigos Alessandro, Ildézia, Ricardo, Sandro, Rondinelli, Ceotto, Carlos, e Amanda, pela ajuda constante.

USO DE GEOESTATÍSTICA PARA APRIMORAR O CONTROLE DE PRAGAS NA CITRICULTURA

Autor: Miriam H. Okumura
Orientador: Prof. Giorgio de Tomi

RESUMO

A preocupação com o desenvolvimento de novas tecnologias que priorizem o menor impacto ambiental, é cada vez maior. Esta tendência também ocorre na agroindústria, onde a preocupação com a redução de uso de defensivos agrícolas já é grande. Os problemas fitossanitários sempre foram barreiras que impediram o desenvolvimento da produtividade da citricultura, apenas ácaro da leprose (*Brevipalpus phoenicis*) representa cerca de 80 % dos custos destinados ao controle de pragas. O desenvolvimento de novas tecnologias, que colaborem com o controle de pragas e doenças já existentes, e outras que podem surgir, são uma necessidade deste setor. Nesta pesquisa foram utilizadas ferramentas informatizadas, utilizadas com sucesso no setor mineiro, no estudo dos ácaro da falsa ferrugem (*Phyllocoptruta oleiva*), ácaro branco (*Polyphagotarsonemus latus*) e ácaro da leprose (*Brevipalpus phoenicis*) com o objetivo de aprimorar o planejamento e gerenciamento da aplicação localizada de defensivos agrícolas, permitindo a verificação das variações espaciais e temporais dos fatores relacionados ao controle dessas pragas que prejudicam a produção citrícola. Estas ferramentas possuem análises geoestatísticas, que são primordiais para a modelagem espacial de fenômenos naturais, como as pragas e doenças, com características regionalizadas, a partir de amostras georreferenciadas. Como resultado tem-se a melhoria do processo de tomada de decisões na utilização de insumos agrícolas (defensivos), a partir do desenvolvimento de metodologia específica, testada e calibrada junto a um importante empreendimento no interior de São Paulo.

USE OF GEOSTATISTICAL TO IMPROVE THE PESTS CONTROL IN CITRUS PLANTS

Author: Miriam H. Okumura
Adviser: Prof. Giorgio de Tomi

ABSTRACT

There is a great concern nowadays with the development of new technologies that prioritize environmental impact. This trend also occurs in the agribusiness, where one of the main concerns is the reduction in the use of agrochemicals. Phytosanitary issues have traditionally been a barrier for the increase in productivity of the citrus plants, as the leprosis mite (*Brevipalpus phoenicis*) responds for approximately 80 % of the pests control costs. The development of new technologies to control existing pests and diseases that affect citrus production is a major challenge of the agribusiness. In this research, software successfully developed for the mining industry has been applied to model the spatial distribution of citrus rust mite (*Phyllocoptruta oleiva*), broad mite (*Plyphagotarsonemus latus*) and leprosis mite (*Brevipalpus phoenicis*) with the objective of improving the planning and management of the localized application of agrochemicals. The resulting analysis have allowed the measurement of spatial variations of these pests and diseases. The spatial variation has then been used as the basis for planning the controlled application of agrochemicals for these pests and diseases. The research has applied geostatistical analysis for the detailed modeling of the regionalized behaviour of citrus pests and diseases according to the spatial positions of the field samples. The results obtained in the research include the improvement of the decision-making process of planning the application of agrochemicals and the development of a specific methodology which has been tested and calibrated in a test-implementation at an important agribusiness company in São Paulo.

SUMÁRIO

1.	Introdução	1
1.1	Citricultura no Brasil	1
1.2	Aplicação localizada de insumos agrícolas	2
2.	Revisão da Literatura	4
2.1	Ciclo de produção da Citricultura	4
2.1.1	Sistema de Informações Integradas Gestão-Produção.....	4
2.2	Pragas e Doenças que afetam a Citricultura.....	9
2.2.1	Ácaro da Falsa Ferrugem.....	9
2.2.2	Ácaro Branco	11
2.2.3	Ácaro da Leprose.....	13
2.3	Geoestatística aplica à Agricultura.....	14
2.3.1	Estudo Variográfico	16
2.3.2	Interpolação de dados por Krigagem de Indicadores.....	19
3.	Metodologia.....	20
3.1	Amostragem.....	20
3.2	Metodologia convencional de interpretação dos dados	23
3.3	Metodologia proposta para modelagem dos dados	25
3.4	Processo de tomada de decisão	27
4.	Estudo de caso e análise de resultados.....	28
4.1	Estudo de caso	28
4.1.1	Amostragem.....	28

4.2	Análise de resultados.....	31
4.2.1	Modelagem dos dados.....	31
4.2.2	Análise estatística	31
4.2.3	Estudo variográfico	33
4.2.4	Krigagem de Indicadores	36
4.3	Processo de tomada de decisão	39
5.	Conclusões	42
6.	Recomendações	43
7.	Elementos de pós-texto.....	44
7.1	Lista de Referências	44
7.2	Apêndices	49
APÊNDICE A – VARIOGRAMAS EXPERIMENTAIS – ÁCARO DA FALSA FERRUGEM.....		49
APÊNDICE B – VARIOGRAMAS EXPERIMENTAIS – ÁCARO BRANCO.....		50
APÊNDICE C – VARIOGRAMAS EXPERIMENTAIS – ÁCARO DA LEPROSE		51
APÊNDICE D - Frequência - Freq., Frequência - Freq. (%) e Frequência Acumulada - Freq. Acum. (%) dos histogramas para cada variável.		53

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Gráfico dos principais produtores mundiais de laranja.....	2
Figura 2.	A Cadeia de Valor.....	7
Figura 3.	Detalhe da Cadeia de Valor	8
Figura 4.	Ácaro da Falsa Ferrugem - <i>Phyllocoptruta oleivora</i>	10
Figura 5.	Sintomas apresentados pelas plantas infectadas.	10
Figura 6.	Ácaro branco (adulto, ninfas e ovo).....	11
Figura 7.	Fruto sintomas causados pelo ácaro da leprose	14
Figura 8.	Exemplo de variograma com características ideais.	17
Figura 9.	(a) anisotropia geométrica, (b) anisotropia zonal e (c) anisotropia mista.....	18
Figura 10.	Área experimental.....	21
Figura 11.	a) Inspetor fazendo amostragem com auxílio do aparelho de GPS; b) Aparelho de GPS para o georreferenciamento dos dados.....	23
Figura 12.	Fases da Metodologia Convencional.	25
Figura 13.	Fases da Metodologia Proposta	26
Figura 14.	Planejamento de aplicação de defensivos	27
Figura 15.	Amostragem dos dados georreferenciados – Ácaro da Leprose.....	28
Figura 16.	Resultados da análise convencional para o Ácaro da Falsa Ferrugem	29
Figura 17.	Resultados da análise convencional dos dados para o Ácaro Branco.....	30
Figura 18.	Resultados da análise convencional dos dados para o Ácaro da Leprose...	30
Figura 19.	Histograma que representa os dados de amostragem do Ácaro da Falsa Ferrugem	31
Figura 20.	Histograma que representa os dados de amostragem do Ácaro Branco	32

Figura 21.	Histograma que representa os dados de amostragem do Ácaro da Leprose.	32
Figura 22.	Variograma Experimental ajustado – Ácaro da Falsa Ferrugem	34
Figura 23.	Variograma Experimental ajustado – Ácaro Branco	35
Figura 24.	Variograma Experimental ajustado – Ácaro da Leprose	35
Figura 25.	Resultado da Interpolação dos dados de amostragem – Ácaro da Falsa Ferrugem	36
Figura 26.	Resultado da Interpolação dos dados de amostragem – Ácaro Branco	38
Figura 27.	Resultado da Interpolação dos dados de amostragem – Ácaro da Leprose	39
Figura 28.	Sobreposição de uma foto aérea da área de pesquisa com os modelos de blocos obtidos.	39
Figura 29.	Comparação dos resultados obtidos com a metodologia convencional e a metodologia proposta. a) Resultado da análise com metodologia proposta para o Ácaro da Falsa Ferrugem; b) Resultado da análise com metodologia convencional para o Ácaro da Falsa Ferrugem; c) Resultado da análise com a metodologia proposta para o Ácaro Branco; d) Resultado da análise com a metodologia convencional para Ácaro Branco; e) Resultado da análise com a metodologia proposta para o Ácaro da Leprose; f) Resultado da análise com a metodologia convencional para Ácaro da Leprose.....	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Metodologia de amostragem convencional	22
Tabela 2 -	Classificação do “fator resultante” em FATOR.....	24
Tabela 3 -	Áreas de controle para Ácaro da Falsa Ferrugem (AF), Ácaro Branco (AB) e Ácaro da Leprose (AL) – Metodologia convencional.	29
Tabela 4 -	Tabela de dados dos variogramas do Ácaro da Falsa Ferrugem (AF), Ácaro Branco (AB) e Ácaro da Leprose (AL).....	34
Tabela 5 -	Comparação de resultados obtidos entre a metodologia convencional e a desenvolvida, para o Ácaro da Falsa Ferrugem (AF), Ácaro Branco (AB) e Ácaro da Leprose (AL).	37

1. INTRODUÇÃO

1.1 Citricultura no Brasil

A importância da citricultura brasileira - produção de 360 milhões de caixas de 40,8 kg e exportações de 1,2 milhões de toneladas de suco concentrado (AGRIANUAL 2005), tem como base uma história secular, do descobrimento do País.

Nos tempos da colonização, houve registros de transplante de mudas de laranjeiras de origem asiática, trazidas da Europa, que mostraram excelente adaptação ao solo e clima locais. Mas é só na segunda metade do século XIX, que a laranja ganha um peso mercadológico relativo, ao acompanhar o café como cultura acessória - a produção era consumida nas fazendas e o excedente, vendido nas cidades. Já em 1939, chegou a ser um dos dez principais produtos de exportação.

Na economia brasileira, o suco concentrado de laranja é de grande importância (principalmente do Estado de São Paulo), gerando divisas na balança comercial do País que ultrapassam US\$ 1 bilhão/ano.

Comparando os produtos exportados, tem-se verificado que o suco concentrado de laranja está posicionado entre os principais produtos de exportação em termos de divisas geradas e, embora pouco conhecido, por diversos anos, foi o primeiro lugar nas exportações paulistas (NEVES, 2001).

Atualmente, o Brasil é o maior produtor mundial de laranja, com 29,66% da produção mundial (Figura 1), e detêm 36% do total produzido; entretanto, essa produção distribui-se de forma desigual entre os estados brasileiros.

Apesar da grande produtividade, os altos custos de produção e a propagação de pragas e doenças estão inviabilizando a produção citrícola. Os custos passaram de

US\$ 1,84/caixa de 40,8 kg – 2003/4, para 2,46/caixa de 40,8 kg – 2005 (AGRIANUAL, 2005), o que significa uma elevação de 35% no preço da produção, em comparação ao ano anterior.

Este cenário atual explica a busca por novas tecnologias e metodologias que objetivam a redução de custo de produção e o menor impacto ambiental.

Figura 1. Gráfico dos principais produtores mundiais de laranja.

1.2 Aplicação localizada de insumos agrícolas

Segundo Molin (2001), a necessidade da dosagem de insumos agrícolas que permitam maximizar a produção sem que potenciais excedentes de fertilizantes e defensivos agrícolas comprometam a qualidade, especialmente da água, foi o início do desenvolvimento tecnológico da ‘agricultura de precisão’.

O mapeamento detalhado dos fatores que afetam a produtividade de uma determinada cultura e a aplicação localizada de insumos são os princípios básicos da agricultura de precisão. O conceito de aplicação localizada tem sido utilizado com grande sucesso nas operações de adubação, por exemplo, pelo cruzamento de informações dos mapeamentos de fertilidade e produção da cultura (Antuniassi, 2000).

Isto possibilita que os insumos agrícolas sejam utilizados somente nas quantidades e locais necessários, eliminando aplicação uniforme, e desnecessária, em toda a área de manejo.

Para as culturas de cereais os métodos e equipamentos necessários para essa finalidade já são relativamente conhecidos, e fazem parte inclusive de equipamentos comercializados (Balastreire, 1998). Ainda segundo Balastreire, 2000, existe a escassez de trabalhos de pesquisas nas culturas específicas como da laranja, de cana-de-açúcar e de café, onde não existem, ou são poucos, os trabalhos publicados sobre a utilização destes conceitos.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Ciclo de produção da Citricultura

2.1.1 Sistema de Informações Integradas Gestão-Produção

Um Sistema de Informação pode ser definido como um conjunto de componentes inter-relacionados que coleta (ou recupera), processa, armazena e distribui informação para dar suporte à tomada de decisão e ao controle da organização. Além de apoiar, coordenar e controlar a tomada de decisão, os sistemas de informação também podem ajudar os gerentes e trabalhadores a analisar problemas, visualizar assuntos complexos e criar novos produtos, De Tomi & Ceotto (2002).

Segundo Mastrela (2003), os dados compõem a matéria-prima de um produto a ser obtido, que é a informação, podendo ser expressos por diferentes formatos. A informação é o resultado obtido da lapidação dos dados, ou seja, a partir do momento em que os dados são organizados, manipulados, integrados para uma finalidade específica, tem-se a produção de novas informações. Os dados por si só, na maioria dos casos, não constituem elementos úteis para dar suporte à tomada de decisão ou planejamentos estratégicos. Já a informação é o elemento fundamental a esses processos.

Segundo Mastrela (2003), o conhecimento deriva da informação, assim como esta dos dados. O conhecimento não é puro nem simples, mas é uma mistura de elementos; é fluido e formalmente estruturado; é intuitivo e, portanto, difícil de ser colocado em palavras ou de ser plenamente entendido em termos lógicos. A Gestão do Conhecimento é, portanto, o

processo sistemático de identificação, criação, renovação e aplicação dos conhecimentos que são estratégicos na vida de uma organização.

O sistema integrado de gestão empresarial (Enterprise Resource Planning – ERP) foi caracterizado por Davenport (1998) como o desenvolvimento mais importante do uso corporativo de tecnologia nos anos 90. Mesmo depois de quase dez anos do surgimento deste tipo de tecnologia, os números relacionados à utilização destes sistemas ainda impressionam: segundo pesquisa do Yankee Group Brasil (2003), 55% das empresas no Brasil utilizam algum tipo de sistema ERP e ao longo de 2003, mais de 10% das empresas pesquisadas investiram em implementações de ERP, e para 2004, aproximadamente 5% já possuem projetos de investimento aprovados neste tipo de tecnologia (Computerworld, 2003).

Segundo Mastrela (2003), o surgimento do ERP originou-se da evolução dos sistemas MRP Material Requirement Planning – “Planejamento das Necessidades de Materiais”, que surgiram devido à integração de suprimentos, controle de compras, recebimento de materiais e controle dos estoques. O MRP, que seria denominado de necessidades técnicas de materiais “estendidas”, e da agregação de novas funções como o cálculo da capacidade de produção por carga de máquinas, controle de produtos e materiais em processo, controle de eficiência, administração de pedidos e faturamento, passou a denominar-se MRPII Manufacturing Resource Planning – “Planejamento de Recursos de Manufatura”. Recentemente, todas essas funções foram integradas aos processos financeiros, fiscais e de recursos humanos, vindo a denominar-se ERP Enterprise Resource Planning – “Planejamento de Recursos do Empreendimento”.

De acordo com Buckhout, Frey e Nemec (1999), um ERP é um software de planejamento dos recursos empresariais que integra as diferentes funções da empresa para

criar operações mais eficientes. Integra os dados-chave e a comunicação entre as áreas da empresa, fornecendo informações detalhadas sobre as operações da mesma.

A busca de soluções tecnológicas que ofereçam as melhores práticas e ainda a possibilidade da profissionalização na indústria de açúcar e álcool é uma realidade para o mercado de agronegócios. Tornar os processos de negócio uma vantagem competitiva levou o Grupo São Martinho, composto pela Usina São Martinho S.A., Monte Sereno Agrícola S.A. (localizadas em Pradópolis, SP), Companhia Industrial e Agrícola Ometto (Usina Iracema), Boa Vista Agrícola e Pecuária Ltda. e OMTEK (localizadas em Iracemápolis, SP) a procurar uma solução no mercado que apoiasse seu novo modelo de gestão. A empresa escolhida foi a SAP – Sistemas, Aplicativos e Produtos para processamento de dados. Recentemente, o Grupo São Martinho migrou para o sistema ERP, impulsionado pelas oportunidades de novos negócios que a solução pode oferecer por possibilitar maior visibilidade e gerenciamento das informações.

A Cia. Suzano de Papel e Celulose e Bahia Sul Celulose, com faturamento de R\$ 2,132 bilhões em 2002, é a maior fabricante integrada de celulose e papel de eucalipto do País e consolidou sua liderança em tecnologia de desenvolvimento de produtos de maior valor agregado, produzindo 791,1 mil toneladas/ano de papel e 424,4 mil toneladas/ano de celulose. Com o objetivo de continuar seu processo de inovação tecnológica, a Cia. Suzano buscou o processo de compras pela Internet como a melhor forma de modernizar suas relações com os fornecedores, tornando-se mais ágil e eficiente. A descentralização dos pedidos de compra e a simplificação dos processos, firmava-se então o caminho para o e-business. A área de compras da Suzano passa a ter um papel mais estratégico, já que a solução de e-procurement traz uma redução significativa no tempo gasto pelo comprador com atividades operacionais de compra e em seu envolvimento com atividades de baixo

valor agregado. Uma vantagem dos sistemas integrados de gestão é a possibilidade de criação da entrada física e fiscal dos materiais pelos usuários, que torna o processo simples e transparente.

A Figura 2. ilustra, em linhas gerais, as principais etapas na produção de bens.

Figura 2. A Cadeia de Valor

O componente horizontal da porção superior refere –se à seqüência das etapas na produção desde a amostragem, estocagem, produção, venda e logística de entrega. O componente vertical da porção superior representa a contribuição intelectual deste processo, como e onde são tomadas decisões a respeito das diversas etapas sequenciais de produção (Figura 3). A porção inferior representa as inter-elações supervisionadas por sistemas de gestão do tipo ERP.

Figura 3. Detalhe da Cadeia de Valor

2.2 Pragas e Doenças que afetam a Citricultura

A produção de citros é bastante afetada por inúmeras pragas e doenças, que podem causar danos à planta, afetando diretamente a quantidade e a qualidade de frutos produzidos.

Esses danos podem ser irreversíveis dependendo da intensidade do ataque em que a planta foi exposta, e pode torná-la improdutiva.

Para este estudo foram consideradas as pragas: Ácaro da Falsa Ferrugem; Ácaro Branco; Ácaro da Leprose.

2.2.1 Ácaro da Falsa Ferrugem

O ácaro da falsa ferrugem (*Phyllocoptruta oleivora*) ocorre durante todo o ano, tendo maior incidência durante a primavera e o verão, período de condições mais adequadas a essa praga, com temperatura e a umidade relativa do ar mais altas. O ácaro ataca todas as variedades de citros (FUNDECITRUS, 2005).

De acordo com o manual de Entomologia Agrícola (2002), de um modo geral, tem aspecto vermiforme, de tamanho bastante reduzido, medindo cerca de 0,15 mm de comprimento, possuem apenas dois pares de pernas, e tem coloração amarelada, como mostra a Figura 4.

Com o aumento da umidade do ar, que coincide com o florescimento, surgem grandes populações nas folhas, hastes e frutos novos. Seu ciclo é de 7 a 10 dias.

O ácaro provoca maiores danos nos frutos, causando lesões escuras, tornando-os imprestáveis para o comércio *in natura*. O fruto danificado é comumente chamado de "mulata" (Figura.5b).

Figura 4. Ácaro da Falsa Ferrugem - *Phyllocoptruta oleivora*

As folhas também podem apresentar manchas escuras, principalmente na parte ventral (Figura. 5a).

Figura 5. Sintomas apresentados pelas plantas infectadas.
a) manchas escuras nas folhas da planta. b) frutos com coloração escura

Quando o ácaro perfura a epiderme dos frutos, pode haver o rompimento de glândulas de óleo, que, em contato com os raios solares, oxida-se, conferindo aos frutos a coloração escura característica do grupo das laranjas doces (Fig. 5b). Para outros grupos de citros, como as limas, tangerinas, etc., os frutos ficam de coloração prateada. Quando a casca é muito atacada, além de depreciados para o consumo *in natura*, os frutos são rejeitados também para a extração de suco, porque quebram as “canecas”, que recebem duas partes

cortadas, paralisando a máquina para sua substituição (ENTOMOLOGIA AGRÍCOLA, 2002).

Estas características apresentadas prejudicam a produtividade e qualidade da laranja *in natura* e aquela destinada à extração de suco de laranja.

2.2.2 Ácaro Branco

Este ácaro é muito comum na cultura do algodão, é polífago e cosmopolitano, sendo conhecido também como ácaro-tropical, ácaro-da-rasgadura, ácaro-da-queda-do-chapéu-mamoeiro, e o seu nome científico é *Polyphagotarsonemus latus* (ENTOMOLOGIA AGRÍCOLA, 2002).

De acordo com sua classificação taxonômica são artrópodes bem pequenos, sendo que a fêmea mede 0,17 mm de comprimento por 0,11 mm de largura (Figura. 6).

Figura 6. Ácaro branco (adulto, ninfas e ovo).

Um mecanismo interessante de perpetuação da espécie é apresentado por este ácaro. O macho mede 0,14 mm de comprimento por 0,08 mm de largura e tem o quarto par de pernas muito avantajado, o que lhe possibilita carregar a “pupa” (segunda fase pós-

embrionária, caracterizada por aparente dormência) da fêmea para que, no momento da emergência, seja garantida a cópula.

Populações elevadas de *P. latus* surgem da combinação de temperatura e umidade altas, com baixa luminosidade (FLECHTMANN, 1967). Parra (1968) relatou que a multiplicação de *P. latus* é favorecida em microclimas úmidos e sob insolação moderada. Gallo *et al.* (1988) afirmaram que o ácaro branco causa danos significativos quando ocorrem condições climáticas favoráveis, como temperatura e umidade relativa do ar elevadas. Por outro lado o desenvolvimento de *P. latus* em algodoeiro depende mais da idade da planta do que das condições de temperatura e umidade prevalentes (CHIAVEGATO, 1975). Li, Li & Bu. (1985) estudaram os efeitos de temperatura e umidade na incidência de *P. latus* em feijoeiro, concluindo que este último fator tem influência na colonização pela praga, porém não tão significativa quanto à temperatura.

Danos causados por *P. latus* no desenvolvimento vegetativo de muitas espécies de interesse econômico têm significado relevante em muitas regiões (PEÑA & BULLOCK, 1994). O ácaro prefere se alimentar na superfície abaxial das folhas, que, conseqüentemente, se tornam curvadas para baixo, encarquilhadas, ressecadas e bronzeadas, podendo chegar a cair prematuramente (SMITH, 1939). Geralmente, as folhas novas são mais intensamente infestadas, tornando-se murchas e freqüentemente necrosando, assim como as gemas apicais (OLIVEIRA, 1972).

Conforme o manual de Entomologia Agrícola, 2002, estes ácaros são muito ágeis nos estágios imaturos, que atacam os ponteiros das plantas causando deformações das folhas e atrofia das brotações. Causam descoloração dos frutos, deixando-os prateados.

2.2.3 Ácaro da Leprose

São ácaros (*Brevipalpus phoenicis*) achatados alaranjados de 0,3 mm de comprimento, com duas manchas de tamanhos e formas variáveis no dorso. Seu ciclo é de aproximadamente 18 dias (ENTOMOLOGIA AGRÍCOLA, 2002).

Segundo Haramoto (1960), é uma espécie polífaga e apresenta distribuição cosmopolita, tendo sido encontrado na África, Ásia, Austrália, Europa, América do Norte, América do Sul e Ilhas do Pacífico.

Podem atacar folhas, ramos e frutos, transmitindo o vírus da leprose dos citros. Esta virose é o principal prejuízo (indireto) desta praga. Os ramos infectados secam gradativamente, e pode ocorrer morte da planta, em ataque severo.

Nos frutos, os sintomas caracterizam-se por uma mancha deprimida, de coloração marrom, circundada por um halo amarelo (Figura. 7), enquanto o fruto estiver verde. Esses sintomas manifestam-se duas semanas após o ataque do ácaro, sendo que os frutos caem 3 semanas depois. Os frutos caídos geralmente ficam com o sabor alterado, desqualificando-os para o consumo *in natura* e/ou a extração de suco (FUNDECITRUS, 2005).

Figura 7. Fruto sintomas causados pelo ácaro da leprose

O controle químico tem sido o principal método de controle empregado para manter esta praga abaixo do nível de dano econômico (COMENALE NETO *et al.*, 1995; SATO & RAGA, 1998). Anualmente, são gastos aproximadamente 90 milhões de dólares, sendo que mais de 80% desse valor são destinados ao combate do ácaro-da-leprose (NEVES *et al.*, 2001; SALVO FILHO, 1997).

Este ácaro além de ser associado à transmissão do vírus da leprose (KITAJIMA *et al.*, 1972; MUSUMECI & ROSSETI, 1963; RODRIGUES *et al.*, 1997) também transmite a clorose zonada em citros (ROSSETI *et al.*, 1965), e é um importante vetor de outras doenças como a mancha anular do cafeeiro (CHAGAS, 1973), a pinta verde no maracujá amarelo (KITAJIMA *et al.*, 1997), a mancha anular no *Ligustrum hucidum* L. e em outras plantas ornamentais (CHILDERS *et al.*, 2001).

2.3 Geoestatística aplica à Agricultura

O conhecimento da geoestatística tem sido adotado por diferentes setores da cadeia agrícola, incluindo pesquisadores, fabricantes de equipamentos, fornecedores de insumos agrícolas, companhias de sementes e produtores como forma de melhorar o retorno econômico da atividade agrícola.

Inicialmente pesquisadores da área de mineração observaram o efeito de “variáveis regionalizadas”, tais variáveis possuem valores que a posicionam em uma localidade.

Krige (1951), trabalhando com dados de concentração de ouro, concluiu que não poderia encontrar sentido nas variações se não levasse em consideração a distância entre elas. Nos depósitos de minerais a ocorrência de valores altos e valores baixos para um teor

de minério é regionalizada, isto é, as propriedades de uma certa variável, que pode variar de um local para o outro com alguma organização, relatando algo que chamamos de dependência espacial.

A “Teoria das variáveis regionalizadas” foi desenvolvida por Matheron (1963, 1971), na qual descreve os fundamentos da geoestatística. A teoria da geoestatística é baseada na observação de variáveis regionalizadas que possuem uma estrutura espacial (JOURNEL & HUIJBREGTS, 1991). Esta estrutura espacial pode ser representada pelo Variograma ou Semi-variograma.

Segundo Matheron (1963), havendo dependência espacial, pode-se estimar valores da propriedade em estudo para os locais não amostrados dentro do campo, sem tendenciosidade e com variância mínima, por meio do método denominado Krigagem

A geoestatística teve as suas principais aplicações na mineração, depois em hidrologia (DELHOMME, 1976) e é também muito aplicada a estudos em Ciências do Solo (VIEIRA *et al.*, 1998).

As informações sobre a dinâmica espacial de variáveis são importantes em estudos epidemiológicos, podendo ser utilizadas para descrever e entender o desenvolvimento das doenças e pragas (GIBSON, 1997a, 1997b; GOTTWALD, 1995; TURECHEK & MADDE, 1999, 2000; XU & RIDOUT, 2000, 2001).

Na citricultura, há relatos de estudos como a variabilidade dos teores dos nutrientes encontrados no solo dos pomares (SOUZA, COGO & VIERIA, 1997), e o mapeamento da produtividade (FARIAS, NOCITI & BARBOSA, 2003; PARISE & VETTORAZZI, 2005). Estes estudos indicam a existência da correlação espacial nas variáveis que afetam a produtividade nos pomares de citros.

2.3.1 Estudo Variográfico

Um dos métodos mais antigos de se estimar a dependência no espaço ou no tempo de amostras vizinhas é através da autocorrelação. Este método tem sido largamente usado em Ciências do Solo (WEBSTER, 1973; WEBSTER E CUALANALO, 1975; VIEIRA *et al.*, 1981).

A semivariância exige uma hipótese de estacionaridade menos restritiva em relação às outras medidas como a covariância, que exige estacionaridade de segunda ordem. Esta exigência menor no modelo de função aleatória não tem conseqüências na maioria dos casos práticos (DEUTSCH & JOURNAL, 1992). Por este motivo a semivariância pode ser utilizada em um número maior de situações.

A estrutura de análises do fenômeno regionalizado consiste em construir um modelo de variograma, que caracteriza, de forma operacional, as características principais da regionalização (JOURNAL & HUIJBREGTS, 1991)

O variograma é gerado a partir da equação de cálculo:

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

onde:

$2\hat{\gamma}(h)$ - é o variograma estimado;

$N(h)$ - é o número de pares de valores medidos, $z(x_i)$ e $z(x_i+h)$, separados por um vetor distância h

$z(x_i)$ e $z(x_i+h)$ - são valores da i -ésima observação da variável regionalizada, coletados nos pontos x_i e x_i+h ($i = 1, \dots, n$), separados pelo vetor

Figura 8. Exemplo de variograma com características ideais.

Os parâmetros do variograma podem ser observados diretamente na Figura 8, onde:

Alcance (a): distância dentro da qual as amostras apresentam-se correlacionadas espacialmente.

Patamar (C): é o valor do variograma correspondente a seu *alcance (a)*. Deste ponto em diante, considera-se que não existe mais dependência espacial entre as amostras, porque a variância da diferença entre pares de amostras ($\text{Var}[Z(\mathbf{x}) - Z(\mathbf{x}+\mathbf{h})]$) torna-se invariante com a distância.

Efeito Pepita (C_0): por definição, $\gamma(\mathbf{0})=0$. Entretanto, na prática, à medida que $\mathbf{h}$ tende para 0 (zero), $\gamma(\mathbf{h})$ se aproxima de um valor positivo chamado *Efeito Pepita (C_0)*. O valor de C_0 revela a descontinuidade do variograma para distâncias menores do que a menor distância entre as amostras. Parte desta descontinuidade pode ser também devida a erros de medição,

mas é impossível quantificar se a maior contribuição provém dos erros de medição ou da variabilidade de pequena escala não captada pela amostragem.

Variância espacial (C_I): é a diferença entre o patamar (C) e o Efeito Pepita (C_o).

Segundo Journel & Huijbregts (1991) o variograma demonstra a melhor forma de caracterizar um fenômeno regionalizado. A informação estrutural é obtida através de análises e deve ser constantemente comparada com a característica do fenômeno amostrado em campo.

Com o variograma espera-se que valores mais próximos sejam mais similares entre si do que aqueles mais afastados e que a diferença entre os dois valores dependa apenas da sua posição relativa. E ainda, o estudo mais detalhado dos variogramas direcionais pode evidenciar a ocorrência de anisotropias. A anisotropia nada mais é que a direção preferencial em que o fenômeno ocorre.

A anisotropia pode ser geométrica (Figura 9 (a)), quando o alcance varia conforme as direções, mas sob um patamar constante; zonal (Figura 9(b)) quando o alcance permanece constante e o patamar varia de acordo com a direção; e por fim, a anisotropia mista (Figura 9(c)), onde variam tanto o alcance quanto o patamar, ou seja, quando as várias direções resultam em diferentes variogramas (ISAACS & SRIVASTAVA, 1989).

Figura 9. (a) anisotropia geométrica, (b) anisotropia zonal e (c) anisotropia mista

Neste estudo específico, as variáveis não apresentaram anisotropias, e quando houve, foram consideradas desprezíveis.

2.3.2 Interpolação de dados por Krigagem de Indicadores

O método de Krigagem tem como base os dados amostrados da variável regionalizada e as propriedades estruturais do variogram obtido a partir desses dados. Krigagem é um método de inferência espacial, o qual estima valores em pontos não amostrados a partir de amostras coletadas, considerando a estrutura de dependência espacial do fenômeno.

Este estimador foi utilizado pela primeira vez por Matheron (1963), e este nome foi dado em homenagem aos trabalhos pioneiros de dependência espacial na mineração. A estimativa é obtida pela seguinte expressão:

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i z(x_i) \quad (2)$$

onde:

$Z(x_0)$: valor desconhecido a ser estimado;

λ_i : ponderadores obtidos pela resolução do sistema linear de equações;

$z(x_i)$: conjunto de n dados disponíveis.

As formas mais usuais são a krigagem simples e a krigagem ordinária e entre os métodos não lineares destaca-se a krigagem de indicadores.

A krigagem simples é utilizada quando a média é assumida como estatisticamente constante para toda a área. A krigagem ordinária, por sua vez, considera a média flutuante ou

móvel por toda a área. A krigagem de indicadores consiste basicamente na aplicação da krigagem ordinária para a variável transformada, ou seja, a variável resultante da aplicação da função não linear $f(z) = 0$ ou 1 . O conceito inicial foi apresentado por Journel (1983) como proposta para construir uma função de distribuição acumulativa condicional para a estimativa de distribuição espacial.

Para esse estudo adotou-se a krigagem de indicadores, visto que o controle da praga com uso de defensivos depende da intensidade dessa praga.

Para atingir o objetivo de aprimorar o controle de pragas, o primeiro passo, na krigagem de indicadores, é transformar os dados originais em indicadores, isto é, acima de um determinado valor de corte em um (1) e os que estão abaixo em zero (0).

Nesse estudo foram considerados os valores de corte 24, 14, e 1, respectivamente para o Ácaro da Falsa Ferrugem, Ácaro Branco e Ácaro da Leprose. Esses valores foram selecionados em função da ação prejudicial de cada praga em questão, e leva em consideração a somatória das três amostragens realizadas em cada “árvore” amostrada (Capítulo 3.1. Amostragem).

3. METODOLOGIA

3.1 Amostragem

A amostragem foi realizada em área localizada na Fazenda Velha, do Grupo Votorantin, cidade de Itapetininga – São Paulo.

A área experimental do estudo foi de aproximadamente 395 ha, sub-dividida em 15 unidades, denominadas de talhão (figura 10), os talhões são desuniformes.

Figura 10. Área experimental.

Para o georreferenciamento das amostras coletadas foi utilizado aparelho digital com sistema de Global Positioning System – GPS, da marca Garmin Etrex Euro (figura 11b), projetado para fornecer as coordenadas X, Y das amostras em sistema UTM, determinando sua localização.

Cada praga possui uma amostragem diferente e única estabelecida pela empresa. A Tabela 1 mostra a metodologia convencional de amostragem de campo, observa-se que esse método restringe a quantificação máxima da variável (ácaros) em 20 ácaros/cm². Para que houvesse o melhor aproveitamento dos dados a contagem dos ácaros foi alterada para que fossem contados os ácaros totais, isto é, a contagem representa a quantidade exata de ácaros/cm².

O número de plantas vistoriadas também foi alterado, passando de 1 % e/ou 0,5% para 3% de plantas vistoriadas por talhão.

As alterações feitas na amostragem foram necessárias para obtenção de maior quantidade de dados para análise geoestatística, ou seja, dados suficientes para geração do variograma, ferramenta inicial para o estudo geoestatístico.

A amostragem em campo foi feita pelo inspetor de pragas e doenças Senhor Aquilino (Figura 11a) que, com o auxílio do aparelho de GPS, fez o georreferenciamento dos dados amostrados.

Praga	Plantas Vistoriadas	Método de Vistoria	Forma de Apontamento
Ácaro da Falsa Ferrugem	0,5% (alterado para 3%)	Plantas s/ produção: 3 folhas – face inferior. Plantas c/ produção: 3 frutos da safra ou temporã (quando não existir da safra).	Apontar a quantidade de ácaro encontrada no cm ² . Acima de 20 apontar 20 (alterado para apontar quantidade total de ácaros).
Ácaro Branco	0,5% (alterado para 3%)	Plantas s/ produção: 3 folhas novas. Plantas c/ produção: 3 frutos da safra ou temporã. Frutos quando ainda pequenos.	Apontar a quantidade de ácaro encontrada no cm ² . Acima de 20 apontar 20. (alterado para apontar quantidade total de ácaros)
Ácaro da Leprose	1,0% (alterado para 3%)	Plantas s/ produção: 3 ramos com bitola de um lápis na face sombreada. Plantas c/ produção: 3 frutos remanescentes da safra anterior ou 3 ramos da bitola de um lápis. Eventualmente avaliar frutos da safra.	Apontar com “X” em caso de presença. (alterado para apontar quantidade total de ácaros)

Tabela 1 - Metodologia de amostragem convencional

Figura 11. a) Inspetor fazendo amostragem com auxílio do aparelho de GPS; b) Aparelho de GPS para o georreferenciamento dos dados.

3.2 Metodologia convencional de interpretação dos dados

Para a melhor compreensão da metodologia proposta, devemos conhecer a metodologia inicial utilizada para esse estudo, que é a mesma empregada pela empresa.

Para o Ácaro da Falsa Ferrugem e Ácaro Branco, a metodologia convencional de interpretação dos dados toma as informações coletadas nas amostragens, inserindo-as no banco de dados da empresa de acordo com o procedimento específico, que tem por base a média dos dados para cada talhão, gerando como resultado o que é denominado de “fator resultante”, de acordo com o cálculo abaixo:

$$\text{Fator Resultante} = \{[(XC1) + X(X C2)]P\}/C3$$

Onde:

X: Amostragem

C1: Constante 1

C2: Constante 2

P: Percentual

C3: Constante 3

O “fator resultante” é classificado por um intervalo de valores, gerando o FATOR e pode variar de 1 a 9 (Tabela 2.). O “FATOR 1” indica que não há ocorrência de pragas, o “FATOR 5” indica que há pragas e que as devidas medidas de controle devem ser iniciadas, acima do “FATOR 5” a infestação da praga inicia a fase de prejuízo à produtividade do pomar, e quanto maior for o “fator” maior será o prejuízo.

Para o Ácaro da Leprose é utilizado como “fator resultante” a porcentagem de plantas com a presença dessa praga em relação à quantidade total de plantas amostradas.

FATOR	“Fator Resultante”		
	Ácaro da Falsa Ferrugem	Ácaro Branco	Ácaro da Leprose (%)
1	2,50	2,00	0
2	3,50	3,00	5
3	6,00	5,00	10
4	12,00	9,00	15
5	17,00	12,00	20
6	22,00	15,50	25
7	27,00	19,00	30
8	31,00	22,00	35
9	40,00	30,00	40

Tabela 2 - Classificação do “fator resultante” em FATOR.

A Figura 12 representa as fases da Metodologia Convencional, iniciando pela amostragem, análise dos dados, classificação por FATOR e aplicação de defensivos agrícolas.

Figura 12. Fases da Metodologia Convencional.

3.3 Metodologia proposta para modelagem dos dados

Inicialmente foi feito o estudo estatístico para a verificação do comportamento dos dados, fez-se a análise estatística descritiva. Nessa análise assume-se que os dados são aleatórios, não considerando a variável posição.

Para tanto, foi elaborada a representação gráfica pelo histograma de cada variável, verificando-se a frequência e a frequência acumulada das variáveis estudadas. O histograma consiste em retângulos com base nas faixas de valores da variável e com área igual à frequência relativa da faixa respectiva, desta forma, é possível obter informações da organização dos dados.

Na etapa seguinte foi feito o estudo detalhado do comportamento das variáveis, sendo utilizado o estudo variográfico. Para cada variável foi realizado o estudo individual, uma vez que possuem comportamentos de distribuição diferentes.

Dessa análise inicial resulta o variograma, a estrutura básica da estimativa de valores por krigagem de indicadores.

O resultado dessa interpolação de dados é o próprio mapa com a localização das áreas onde a praga será controlada com auxílio de defensivos agrícolas, foram utilizados para a interpolação dos dados blocos de 40 m², visto que a distância média entre uma amostragem e outra foi de 80 m.

A Figura 13 representa as fases da metodologia proposta para a modelagem de dados.

Figura 13. Fases da Metodologia Proposta

3.4 Processo de tomada de decisão

O planejamento de uso de defensivos agrícolas foi feito com base no resultado das interpolações por Krigagem de Indicadores dos dados coletados, com blocos de 40 m². Como resultado da interpolação dos dados é gerado o mapa de blocos com a localização exata das áreas onde a presença da praga iniciou a fase prejudicial à produtividade do pomar. Sobrepondo o mapa gerado por essa interpolação com as áreas de controle já definidas e a foto aérea da área de estudo (Figura 14), obtemos uma forma simples de detectar as áreas de aplicação de defensivos agrícolas.

Figura 14. Planejamento de aplicação de defensivos

4. ESTUDO DE CASO E ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1 Estudo de caso

4.1.1 Amostragem

Figura 15. Amostragem dos dados georreferenciados – Ácaro da Leprose.

Na Figura 15 pode-se visualizar os dados amostrados e seu georreferenciamento para a amostragem de campo do Ácaro da Leprose.

Como comentado anteriormente, a metodologia convencional é baseada no cálculo do “FATOR” a partir da média dos dados amostrados em cada talhão, por este motivo os resultados são apontados por talhão.

Pode-se verificar nas Figuras 16, 17 e 18 os resultados apresentados por talhão, onde os talhões vermelhos representam as áreas em que a presença da praga está afetando a produtividade do pomar e o seu controle será com o auxílio de defensivos agrícolas, e os talhões verdes representam as áreas sem necessidade de aplicação de defensivos agrícolas.

Figura 16. Resultados da análise convencional para o Ácaro da Falsa Ferrugem

As áreas de controle (talhões vermelhos) representam 61,67 ha, 87,78 ha, e 52,81 ha, respectivamente para os Ácaros da Falsa Ferrugem (AF), Ácaro Branco (AB) e Ácaro da Leprose (AL), como representado na Tabela 3.

Variável	Total de área de controle (ha)	% da área total	área total (ha)
AF	61.67	15.64	394.39
AB	87.78	22.26	394.39
AL	52.81	13.39	394.39

Tabela 3 - Áreas de controle para Ácaro da Falsa Ferrugem (AF), Ácaro Branco (AB) e Ácaro da Leprose (AL) – Metodologia convencional.

Figura 17. Resultados da análise convencional dos dados para o Ácaro Branco.

Figura 18. Resultados da análise convencional dos dados para o Ácaro da Leprose.

4.2 Análise de resultados

4.2.1 Modelagem dos dados

Para cada variável estudada foi realizada a análise geoestatística, que inclui a análise estatística inicial, a variografia e a krigagem de indicadores.

A seguir, para cada variável, estão expostos os resultados obtidos:

4.2.2 Análise estatística

A análise inicia-se com o estudo da distribuição da frequência e frequência acumulada dos dados representados no histograma.

Observa-se que há grande concentração de valores entre 0 e 5 para as três variáveis (Figuras 19, 20 e 21). Esse tipo de distribuição possui assimetria positiva, com grande quantidade de valores baixos e poucos valores altos, assemelhando-se à distribuição lognormal.

Figura 19. Histograma que representa os dados de amostragem do Ácaro da Falsa Ferrugem

Figura 20. Histograma que representa os dados de amostragem do Ácaro Branco

Figura 21. Histograma que representa os dados de amostragem do Ácaro da Leprose.

4.2.3 Estudo variográfico

Os variogramas experimentais com o respectivo modelo ajustado para os dados de amostragem estão representados nas Figuras 22, 23 e 24.

A natureza estrutural de um conjunto de dados (assumida pela variável regionalizada) é definida a partir da comparação de valores tomados simultaneamente em dois pontos, segundo uma determinada direção.

Por meio do variograma experimental, o pesquisador é capaz de definir o modelo que melhor descreve o comportamento dos dados no espaço.

O modelo que melhor se ajustou aos variogramas experimentais foi o modelo esférico, representado pela equação:

$$\gamma(h) = C_0 + C \left[\frac{3}{2} \left(\frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right] \quad \text{para } h > a$$

$$\gamma(h) = C_0 + C \quad \text{para } h \geq a$$

onde:

(C_0): Efeito Pepita

(C): Patamar

(a): Alcance

(h): Distância

Figura 22. Variograma Experimental ajustado – Ácaro da Falsa Ferrugem

Variável	Efeito Pepita (C_0)	Amplitude (a)	Variância Espacial ($C - C_0$)	Patamar (C)
AF	0,18	169,78	0,04	0,22
AB	0,04	123,13	0,11	0,15
AL	0,04	108,53	0,03	0,07

Tabela 4 - Tabela de dados dos variogramas do Ácaro da Falsa Ferrugem (AF), Ácaro Branco (AB) e Ácaro da Leprose (AL).

Os variogramas resultantes da análise dos dados de amostragem não apresentaram anisotropias significativas, isto é, não apresentaram variações no patamar ou na amplitude, portanto são isotrópicos.

Figura 23. Variograma Experimental ajustado – Ácaro Branco

Figura 24. Variograma Experimental ajustado – Ácaro da Lepose

O comportamento na origem desses variogramas é linear, ou seja, por uma tangente oblíqua à origem, representando continuidade média das amostras, isto é, grande homogeneidade nas pequenas distâncias e uma progressiva perda de homogeneidade com o aumento da distância.

A função variograma é uma ferramenta básica e será utilizado para calcular valores para uma dada distância, os quais são necessários para a organização do sistema de equações de krigagem.

4.2.4 Krigagem de Indicadores

Os resultados da interpolação dos dados são apresentados nas Figuras 25, 26 e 27, respectivamente para o Ácaro da Falsa Ferrugem, Ácaro Branco e Ácaro da Leprose.

Observa-se que as áreas onde os focos das pragas estão localizados encontram-se de maneira dispersa, diferentemente do resultado obtido com a metodologia convencional.

Figura 25. Resultado da Interpolação dos dados de amostragem – Ácaro da Falsa Ferrugem

Variável	Metodologia Convencional		Metodologia Desenvolvida		Dif (conv.-local.)	
	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)
AF	61,67	15,64	19,68	4,99	-41,99	-68,09
AB	87,78	22,26	6,4	1,62	-81,38	-92,71
AL	52,81	13,39	37,76	9,57	-15,05	-28,50

Tabela 5 - Comparação de resultados obtidos entre a metodologia convencional e a desenvolvida, para o Ácaro da Falsa Ferrugem (AF), Ácaro Branco (AB) e Ácaro da Leprose (AL).

Na Tabela 5. estão expostos os resultados obtidos, nota-se que houve redução na área de controle das pragas para os três ácaros estudados.

Dentre as pragas estudadas, o Ácaro Branco – AB apresentou maior diferença na área de controle, com a aplicação da metodologia desenvolvida a área de controle foi de 6,4 ha, enquanto que o resultado obtido com a metodologia convencional a área controle foi de 87,78 ha, o que significa a diferença de 81,38 ha ($=87,78\text{ha} - 6,4\text{ ha}$), representando 92,71 % de redução na área de aplicação de defensivos agrícolas.

O diferença nas áreas de controle do Ácaro da Falsa Ferrugem – AF foi de 68,09 %. O resultado obtido com a aplicação da metodologia desenvolvida foi 19,68 ha de área de controle, e com a metodologia convencional foi de 61,67 ha.

O uso da metodologia desenvolvida possibilita a melhor localização das áreas de controle das pragas, reduzindo as áreas de aplicação de defensivos agrícolas.

O Ácaro da Leprose – AL teve redução de 28,50 % na área de controle com o uso da metodologia desenvolvida, além disso, evidenciou locais com a presença da praga que não foram detectados com o uso da metodologia convencional de análise (Figura 27)

Figura 26. Resultado da Interpolação dos dados de amostragem – Ácaro Branco

Para a comprovação dos resultados foi realizada nova campanha de amostragem na área experimental após aplicação dos defensivos agrícolas e constatou-se que o controle das pragas foi o mesmo em relação à metodologia convencional, resultando no uso adequado dos defensivos agrícolas com a mesma eficiência e qualidade, e, ainda, o manejo ambientalmente consciente de pragas.

Figura 27. Resultado da Interpolação dos dados de amostragem – Ácaro da Leprose

4.3 Processo de tomada de decisão

Com base nos resultados obtidos da interpolação dos dados por krigagem de indicadores, foi desenvolvido o processo de tomada de decisões e planejamento de aplicação diária de insumos agrícolas.

Esse processo é simples e consiste na sobreposição de uma foto aérea da área com os modelos de blocos obtidos pela krigagem de indicadores. A Figura 28 representa a área de controle (áreas em vermelho) para o Ácaro da Leprose (AL).

Dessa maneira é possível visualizar os locais de aplicação e planejar, juntamente com o georreferenciamento das áreas, a melhor forma para a aplicação efetiva do defensivo agrícola.

Figura 28. Sobreposição de uma foto aérea da área de pesquisa com os modelos de blocos obtidos.

Figura 29. Comparação dos resultados obtidos com a metodologia convencional e a metodologia proposta. a) Resultado da análise com metodologia proposta para o Ácaro da Falsa Ferrugem; b) Resultado da análise com metodologia convencional para o Ácaro da Falsa Ferrugem; c) Resultado da análise com a metodologia proposta para o Ácaro Branco; d) Resultado da análise com a metodologia convencional para Ácaro Branco; e) Resultado da análise com a metodologia proposta para o Ácaro da Leprose; f) Resultado da análise com a metodologia convencional para Ácaro da Leprose.

A interpretação convencional dos dados estima os valores médios da praga, para um talhão, a partir das amostras, podendo resultar em interpretações erradas. A Figura 29

demonstra a diferença nos resultados obtidos com uso da metodologia convencional e desenvolvida.

A partir da metodologia desenvolvida, os dados de amostragem são melhor analisados e, como resultado, as áreas para aplicação de defensivos agrícolas são menores e melhor distribuídas. Observa-se que no caso do Ácaro da Leprose não houve diferença significativa no tamanho da área de controle, porém os focos da praga foram identificados corretamente e a aplicação do defensivo agrícola é otimizada.

5. CONCLUSÕES

- 1 - Os resultados obtidos comprovam que estas ferramentas informatizadas, comumente utilizadas na mineração, podem fazer parte do setor agrícola trazendo grandes benefícios.
- 2 - O sucesso obtido neste projeto traz grandes perspectivas, e esta pesquisa é uma iniciativa para a geração de novas tecnologias que possam auxiliar na tomada de decisões para o setor agrícola.
- 3 - Conciliando o domínio da tecnologia e dos processos ao dinamismo dos fenômenos naturais que ocorrem no meio agrícola, poderemos antecipar as tomada de decisões, favorecendo o controle e até mesmo a prevenção de pragas e doenças.

6. RECOMENDAÇÕES

- 1 - Estas pesquisas não devem ser limitadas apenas ao controle de pragas e doenças, pois possui grandes perspectivas para outras atividades, como mapeamento e quantificação da produção propriamente dita: melhor controle sobre a necessidade de adubação, visto que, a adubação está diretamente relacionada à produção obtida, e uma ferramenta muito importante que poderá ser obtida é o mapeamento completo de todas as atividades envolvidas na produção de produtos citrícola.
- 2 - Para a continuidade dessa pesquisa deve ser realizado o estudo logístico de aplicação de defensivos agrícolas.

7. ELEMENTOS DE PÓS-TEXTO

7.1 Lista de Referências

Agrianual 2005: anuário da agricultura brasileira. São Paulo: FNP Consultoria e Comércio, 2005.

ANTUNIASI, U. R. Aplicação localizada de produtos fitossanitários. **Viçosa**, 2000. p. 181-202.

BASSANEZI, R.B.; BERGAMIN FILHO, A.; AMORIM, L.; GIMENES-FERNANDES, N.; GOTTWALD, T.R.; BOVÉ, J.M. Spatial and temporal analyses of citrus sudden death as a tool to generate hypotheses concerning its etiology. **Phytopathology**, v.93, n.4, p.502-512, 2003.

BLASTREIRE, L.A. **O Estado-da-Arte da Agricultura de Precisão no Brasil**, Piracicaba, SP, 2000. 224p.

BUCKHOUT, S.; FREY, E.; NEMEC JR., J. Por um ERP eficaz. HSM Management. p. 30-36, set. out. 1999.

CHAGAS, C.M. Associação do ácaro *Brevipalpus phoenicis* (Geijskes) à mancha anular do cafeeiro. **O Biólogo**, v.39, p.229-232, 1973.

CHIAVEGATO, L.G. Flutuação de populações de ácaros na cultura algodoeira em algumas regiões do Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 34, n. 15, p. 241-255, 1975.

CHILDERS, C.C.; KITAJIMA, E.W.; WELBOUR, W.C.; RIVERA, C.; OCHOA, R. *Brevipalpus* mites on citrus and their status as vectors of citrus leprosis. **Manejo Integrado de Plagas**, v. 60, p. 66-70, 2001.

COMENALE NETO, C.; YAMAMOTO, P.T.; GRAVENA, S.; SILVA, B.B.S. Período de controle do Ácaro da Leprose *Brevipalpus phoenicis* por acaricidas em diferentes níveis de infestação. **Laranja**, Cordeirópolis - SP, v.16, n.2, p.251-261, 1995.

COMPUTERWORLD. Uma tropa de elite para tocar o negócio. Disponível em: http://www.uol.com.br/computerworld/100maiores98/software/sof_12.htm e <http://www.uol.com.br/computerworld/100maiores98/software/sof_12.htm>

DAVENPORT, T. H. Putting de enterprise into the enterprise system. Harvard Business Review. p. 1221-1231, jul./ago. 1998.

DE TOMI G.; CEOTTO, H.V. Projeto Regular: Gerenciamento Integrado da Cadeia de Valor Mineral – Parte I (Projeto ERP-CVM-I). Pedido de Auxílio à Pesquisa, FAPESP. São Paulo, Dezembro de 2002.

DELHOMME J.P. Application de la théorie des variables généralisées dans les sciences de l'eau. **Thèse de Dr. Ingénieur**. Université Pierre et Marie Curie, Paris 130 p. 1976.

DEUTSCH, C.V., JOURNEL, A.G. 1998. GSLIB: *Geostatistical software library and user's guide*, New York: Oxford University Press, 1992. 369 p.

ENTOMOLOGIA AGRÍCOLA: pragas das frutíferas, citros. Volume 10. Piracicaba: Ed. FEALQ, 2002. 920 p.

FARIAS, P.R.S. A geoestatística e a agricultura de precisão como ferramenta no controle de pragas e doenças. In: ROBERTO, S.R.; RALISCH, R (Eds.) **V Mostra acadêmica de trabalhos de agronomia**. Londrina: UEL, 2001. p.9-18.

FARIAS, P.R.S., NOCITI, L.A.S., BARBOSA, J.C. *et al.* **Precision agriculture: mapping yield in citrus groves using geostatistics**. *Rev. Bras. Frutic.* [online]. Aug. 2003, vol.25, no.2 [cited 13 November 2003], p.235-241. Available from World Wide Web: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-29452003000200013&lng=en&nrm=iso>. ISSN 0100-2945.

FLECHTMANN, C.H.W. Introdução á família Tarsonemidae Kramer, 1877 (Acarina) no Estado de São Paulo. **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, Piracicaba, v. 24, p. 265-272, 1967.

FUNDECITRUS – Fundo de Defesa da Citricultura. Site: <http://www.fundecitrus.com.br/>. Acesso em 24 de agosto de 2005.

GIBSON, G.V. Investigating mechanisms of spatiotemporal epidemic spread using stochastic models. **Phytopathology**, v. 87, n. 2, p. 139-146, 1997a

GIBSON, G.V. Markov Chain Monte Carlo methods for fitting spatiotemporal stochastic models in plant epidemiology. **Phytopathology**, v. 46, n. 2, p. 215-233, 1997b.

GOTTWALD, T.R. Spatio-temporal analysis and isopath dynamics of citrus scab in nursery plots. **Phytopathology**, v. 85, n. 10, p. 1082-1092, 1995.

HARAMOTO, F.H. Biology and control of *Brevipalpus phoenicis* (Geijskes) (Acarina: Tenuipalpidae). **Hawaii Agricultural Experimental Station Technical Bulletin**, n.68, p.1-60, 1960.

ISAAKS, E.H., SRIVASTAVA, M.R. *An introduction to applied geostatistics*, New York: Oxford University Press, 1989. 561 p.

JOURNEL, A.G. & HUIJBREGTS, C.J. **Mining geoestatistics**. 5 ed. London, Academic Press, 1991. 561p.

KITAJIMA, E.W.; MULLER, G.W.; COSTA, A.S.; YUKI, V.A. Short, rod-like particles associate with citrus leprosis, **Virology**, v.50, n.1, p.254-258, 1972.

KITAJIMA, E.W.; REZENDE, J.A.M.; RODRIGUES, J.C.V.; CHIAVEGATO, L.G.; PIZA JR., C.T.; MOROZINI, W. Green Spot of passion fruit, a possible viral disease associated

with infestation by the mite *Brevipalpus phoenicis*. **Fitopatologia Brasileira**, v.22, n.4, p.555-559, 1997

KRIGE, D.G.A statistical approach to some basic mine evaluation problems on the Witwatersrand. **Journal of Chemical Metall Mining Society South African**, v. 52, p.119-139, 1951.

LI, L.S.; LI, Y.R.; BU, G.S. The effect of temperature and humidity on the growth and development of the broad mite, *Polyphagotarsonemus latus*. *Acta Entomologica Sinica*, v. 28, p. 181-187, 1985. (Resumo).

MATHERON, G. Principles of geostatistics. **Economic Geology**, Littleton, v.58, p.1246-1266, 1963.

MATHERON, G. The theory of regionalized variables and its application. Fontainebleau: Les Cahiers du Centre de Morphologie Mathématique, 1971. 56 p. (Fascicule 5)

MATHERON, M.E. & MATEJKA, J.C. Effect of sodium tetrathiocarbonate, metalaxyl and fosetyl - Al on development and control of *Phytophthora* root rot of citrus. **Plant Disease** 75:264-268. 1991.

MASTRELA, R.. Dissertação de Mestrado. Interação do Software de Mineração com Sistemas ERP: Estudo de Caso Mineração Catalão, Município de Ouror, Goiás. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, **Universidade de São Paulo**, São Paulo, 2003. 91p.

MONTGOMERY, E.G. Experiments in wheat breeding: experimental error in the nursery and variation in nitrogen and yield. **U.S. Department of Agriculture Bureau Plant Industry Bulletin**. Washington, 1993.

MUSUMECI, M.R.; ROSSETI, V. Transmissão dos sintomas da leprose dos citros pelo ácaro *Brevipalpus phoenicis*. **Ciência e Cultura**, v.15, n.3, p.228, 1963.

NEVES, E.M.; DAYOUB, M.; DRAGONE, D.S. et al. BRAZILIAN CITRUS INDUSTRY: ECONOMIC AND FINANCIAL EFFECTS, 1996 - 2000. **Revista Brasileira de Fruticultura** [online]. Aug. 2001, vol.23, no.2 [cited 25 November 2003], p.432-436. Available from World Wide Web: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-29452001000200048&lng=en&nrm=iso>. ISSN 0100-2945.

OLIVEIRA, C.A.L. Ação dos ácaros *Polyphagotarsonemus latus* (Banks, 1904) e *Tetranychus urticae* (Koch, 1936), na depreciação quantitativa e qualitativa da produção algodoeira. Piracicaba, ESALQ, 1972. 150 p. (Tese mestrado).

PARRA, J.R.P. O ácaro branco, *Hemitarsonemus latus* (Banks), inimigo cosmopolita de plantas cultivadas. **O Agrônomo**, Campinas, v. 20, n. 3-4, p. 34-40, 1968.

PEÑA, J.E.; BULLOCK, R.C. Effects of feeding of broad mite (Acari:Tarsonemidae) on vegetative plant growth. **Florida Entomologist**, v. 77, n. 1, p. 180-184, 1994.

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

RODRIGUES, J.C.V.; NOGUEIRA, N.L.;FREITAS, D.S.;PRATES, H.S. Visus-like particles associate with *Brevipalpus phoenicis* (Geijskes, 1939) (Acaris Tenuipalpidae), vector of citrus leprosis vírus. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v.26, n.2, p.391-395, 1997.

ROSSETI, V.; NAKADAIRA, J.T.; CALZA, R.; MIRANDA, C.A.B. A propagação da clorose zonada dos citrus pelo ácaro *Brevipalpus phoenicis*. **O Biólogo**, v.31, p. 113-116, 1965.

SALVIANO, A.A.C.; VIEIRA, S.R. & SPAROVEK, G. Variabilidade espacial de atributos de solo e de *Crotalaria juncea*-L em área severamente erodida. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 22:115-122, 1998.

SALVO FILHO, A. Notas sobre o tratamento fitossanitário em citros. **Laranja**, v.18, p.155-163, 1997.

SMITH, F.F. Control of cyclamen and broad mite in gerbera, **USDA**, Circ. nº. 516, 1939. 14 p.

SATO, M.E.; RAGA, A. Ácaro da leprose. **O Biológico**, v.60, n.1, p.61-69, 1998.

SOARES A. **Geoestatística para ciência da terra e do ambiente**. Lisboa Instituto Superior, 2000. p.206.

SOUZA, L.S.; COGO, N.P. & VIEIRA, S.R. Variabilidade de propriedades físicas e químicas do solo em um pomar cítrico. **R. Bras. Ci. Solo**, 21:367-372, 1997.

TURECHEK, W.W.; MADDEN, L.V. Spatial pattern analysis and sequential sampling for the incidence of leaf spot and strawberry in Ohio. **Plant Disease**, v.83, n.11, p.992-1000, 1999.

TURECHEK, W.W.; MADDEN, L.V. Analysis of the association between the incidence of two spatially aggregated foliar diseases of strawberry. **Phytopathology**, v. 90, n. 2, p. 157-170, 2000.

VIEIRA, S. R.; NIELSEN, D. & BIGGAR, J. W. Spatial variability of field-measured infiltration rate. *Soil science society of America journal*, Madison, 45: 1040-1048, 1981.

VIEIRA, S.R.; DE MARIA, I.C.; CASTRO, O.M.; DECHEN, S.C.F.&LOMBARDI NETO, F. Utilização da análise de Fourier no estudo do efeito residual da adubação em uva na crotalária. **R. Bras. Ci. Solo**, 11:7-10, 1987.

VIEIRA, S. R. ; MARQUES JUNIOR, José ; SALVIANO, A. A. C. . Avaliação da variabilidade espacial de espessura do solo e condutividade hidráulica saturada em alguns solos do estado de São Paulo.. In: XII Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo

e da Água, 1998, Fortaleza. Agricultura e Sustentabilidade no Semi-Árido. Viçosa : **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p. 161-162. 1998.

VIEIRA, S. R. ; CASTRO, Orlando Melo de ; TOPP, G. C. . Spatial variability of some soil physical properties in three soils of São Paulo, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 27, n. 2, p. 333-341, 1992.

VIEIRA, S.R.; HATFIELD, J.L.; NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, Oakland, v.51, p.1-75, 1983.

XU, X.-M.; RIDOUT, M.S. Effects of quadrat size and shape, initial epidemic conditions, and spore dispersal gradient on spatial statistics of plant disease epidemics. **Phytopatology**, v. 90, n. 7, p. 738-750, 2000.

XU, X.-M.; RIDOUT, M.S. Effects of prevailing wind direction on spatial statistics of plant disease epidemics. **Journal of Phytopathology**, v, 149, n. 2, p. 155-166, 2001.

YANKEE GROUP BRASIL. Enterprise Application in Brazil, **Yankee Group Brasil**, 2003.

WEBSTER, R. Automatic soil boundary location for transect data. *Mathematic Geology*. New York, 5(1): 27-37, 1973.

WEBSTER, R.;BURGESS, T.M. Sampling and building strategies for estimating soil properties in small regions. **Journal of Soil Science**, v.35,n. 1, p. 127-140, 1984.

WEBSTER, R. & CUANALO, H. E . de l C. Soil transects correlograms of north Oxfordshire and their interpretation. **The Journal of soil science**, Oxford, 26(2): 176-197, 1975.

7.2 Apêndices

APÊNDICE A – VARIOGRAMAS EXPERIMENTAIS – ÁCARO DA FALSA FERRUGEM

APÊNDICE B – VARIOGRAMAS EXPERIMENTAIS – ÁCARO BRANCO

APÊNDICE C – VARIOGRAMAS EXPERIMENTAIS – ÁCARO DA LEPROSE

APÊNDICE D - Frequência - Freq., Frequência - Freq. (%) e Frequência Acumulada - Freq. Acum. (%) dos histogramas para cada variável.

	Ácaro da Ferrugem (AF)			Ácaro Branco (AB)			Ácaro da Leprose (AL)		
	FREQ.	FREQ. (%)	FREQ. ACUM. (%)	FREQ.	FREQ. (%)	FREQ. ACUM. (%)	FREQ.	FREQ. (%)	FREQ. ACUM. (%)
0 a 5	577	80,93	80,93	617	86,54	86,54	1267	97,91	97,91
5 a 10	39	5,47	86,40	26	3,65	90,18	9	0,70	98,61
10 a 15	26	3,65	90,04	11	1,54	91,73	6	0,46	99,07
15 a 20	7	0,98	91,02	12	1,68	93,41	3	0,23	99,30
20 a 25	14	1,96	92,99	5	0,70	94,11	3	0,23	99,54
25 a 30	6	0,84	93,83	4	0,56	94,67	0	0,00	99,54
30 a 35	8	1,12	94,95	5	0,70	95,37	2	0,15	99,69
35 a 40	7	0,98	95,93	4	0,56	95,93	1	0,08	99,77
40 a 45	7	0,98	96,91	3	0,42	96,35	0	0,00	99,77
45 a 50	5	0,70	97,62	4	0,56	96,91	0	0,00	99,77
50 a 55	3	0,42	98,04	2	0,28	97,19	0	0,00	99,77
55 a 60	3	0,42	98,46	3	0,42	97,62	0	0,00	99,77
60 a 65	2	0,28	98,74	3	0,42	98,04	1	0,08	99,85
65 a 70	1	0,14	98,88	2	0,28	98,32	0	0,00	99,85
70 a 75	1	0,14	99,02	0	0,00	98,32	0	0,00	99,85
75 a 80	1	0,14	99,16	2	0,28	98,60	0	0,00	99,85
80 a 85	0	0,00	99,16	2	0,28	98,88	0	0,00	99,85
85 a 90	0	0,00	99,16	0	0,00	98,88	1	0,08	99,92
90 a 95	1	0,14	99,30	0	0,00	98,88	0	0,00	99,92
95 a 100	0	0,00	99,30	2	0,28	99,16	0	0,00	99,92
100 a 105	1	0,14	99,44	1	0,14	99,30	0	0,00	99,92
105 a 110	0	0,00	99,44	0	0,00	99,30	0	0,00	99,92
110 a 115	1	0,14	99,58	0	0,00	99,30	0	0,00	99,92
115 a 120	0	0,00	99,58	0	0,00	99,30	0	0,00	99,92
> 120	3	0,42	100,00	5	0,70	100,00	1	0,08	100,00