

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**VARIABILIDADE ESPACIAL DA PRODUTIVIDADE DE FRUTOS DE
PEREIRAS E ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO**

MARCIA REGINA SIQUEIRA KONOPATZKI

CASCADEL – PR

2008

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

MARCIA REGINA SIQUEIRA KONOPATZKI

**VARIABILIDADE ESPACIAL DA PRODUTIVIDADE DE FRUTOS DE
PEREIRAS E ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO**

Dissertação apresentada como requisito parcial de avaliação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Agrícola do Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Engenharia de Sistemas Agroindustriais, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Godoy de Souza
Co-Orientadora: Prof^a. Dr^a. Lucia Helena Pereira Nóbrega
Co-Orientador: Prof. Dr. Miguel Angel Uribe-Opazo

CASCADEL – PR

2008

Ficha catalográfica
Bibliotecária Jeanine da Silva Barros - CRB-9/1362

K82v Konopatzki, Marcia Regina Siqueira
Variabilidade espacial da produtividade de frutos de pereiras e atributos químicos do solo. / Marcia Regina Siquiera Konopatzki. —Cascavel, PR: UNIOESTE, 2008.
86 f. ; 30 cm

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Godoy de Souza
Co-Orientadora: Profa. Dra. Lucia Helena Pereira Nóbrega
Co-Orientador: Prof. Dr. Miguel Angel Uribe-Opazo
Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná.
Bibliografia.

1. Fruticultura de precisão. 2. Mapas temáticos. 3. Pereiras. 4. Agricultura de precisão. 5. Pêra (Fruto) – Produtividade. 6. Frutas – Cultivo. 7. Solo – Atributos químicos. I. Souza, Eduardo Godoy de. II. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. III. Título.

CDD 21ed. 634
CIP – NBR 12899

MARCIA REGINA SIQUEIRA KONOPATZKI

**VARIABILIDADE ESPACIAL DA PRODUTIVIDADE DE FRUTOS DE
PEREIRAS E ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração em Engenharia de Sistemas Agroindustriais, aprovada pela seguinte banca examinadora:

Orientador: Profº. Dr. Eduardo Godoy de Souza
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE

Profº. Dr. Marcos Milan
Departamento de Engenharia Rural, ESALQ

Profº. Dr. Antonio Gabriel Filho
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE

Profº. Dr. Erivelto Mercante
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE

Cascavel, 11 de fevereiro de 2008.

DEDICATÓRIA

A

DEUS

força maior de todo ser humano e que nunca me deixou esmorecer.

Aos meus pais,
Ahilton Antunes de Siqueira e
Edith Born de Siqueira,
e aos inúmeros bons exemplos que
me propiciaram e me
Impulsionaram a superar a batalha do
dia-dia.

Ao meu esposo, **Luiz Augusto**, pelo amor, compreensão,
apoio e, principalmente, por se manter sempre
forte e zelar pela saúde e bem-estar de nossos
filhos nos momentos em que estive ausente.

Aos meus filhos, **Luiz Augusto Filho e Simone**, que sempre foram motivo de
orgulho, alegrando minha vida e dando razões para que eu progreda.

*"Nunca ande apenas pelos caminhos traçados,
pois eles conduzem somente até aonde os outros já
foram."*

Alexander Graham Bell

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE –, pela oportunidade de participar de seu programa de mestrado e utilização de suas instalações;

Ao Professor, Dr. Eduardo Godoy de Souza, pela orientação, confiança, pelos conselhos, amizade e apoio para a realização deste trabalho. Agradeço, principalmente, por me ensinar que não existem coisas difíceis, existe apenas o que conhecemos e não conhecemos;

Aos professores Doutores, Miguel Angel Uribe Opazo e Lúcia Helena Pereira Nóbrega, pela co-orientação, pelas revisões dos trabalhos, sugestões conferidas para o aprimoramento deste trabalho, pelo apoio nas questões acadêmicas, pelo incentivo e, principalmente, pela amizade;

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo apoio concedido na concretização desse trabalho;

A Fundação Araucária de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Paraná, pelo amparo à pesquisa e formação de recursos humanos, visando ao desenvolvimento científico, tecnológico, econômico e social do Estado do Paraná;

Aos Srs. Luiz Augusto e Adolar Konopatzki, por ceder a área da Fazenda Santa Maria para a realização do experimento;

Aos amigos, Grazieli, Samara, Daniele, Márcia, Ana Carolina, Gislaine e Fabiano, pelo auxílio prestado ao longo desta pesquisa e, sobretudo, pela convivência, enfim,

A todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, muito obrigada.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
RESUMO.....	xi
ABSTRACT.....	xii
1 INTRODUÇÃO.....	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1 Fertilidade do solo e nutrição de plantas	15
2.2 Manejo do solo	17
2.3 Manejo em frutíferas	18
2.3.1 O clima e a fruticultura	18
2.3.2 O solo e a fruticultura	18
2.3.3 Enxertia	19
2.3.4 Tratos culturais	19
2.3.5 Polinização	20
2.3.6 Quebra da dormência	20
2.4 Deficiência de nutrientes minerais	21
2.5 Relações entre cátions trocáveis e pH	22
2.6 Absorção e disponibilidade de nutrientes	24
2.7 Adubação	25
2.8 Agricultura de precisão	26
2.9 Amostragem do solo	30
2.10 Análise estatística	30
2.11 Análise espacial e geoestatística.....	31
2.12 Coeficiente de correlação linear de Pearson	38
2.13 Coeficiente de correlação de postos de Spearman	38
2.14 A fruticultura	39
2.14.1 Produção brasileira de frutas	40
2.15 A pêra (<i>Pyrus communis</i>).....	41
2.16 Produção integrada de frutas (PIF)	42
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	44
3.1 Localização da área experimental	44
3.2 Georreferenciamento do talhão	44
3.3 Cultura e adubação	45
3.4 Análise dos atributos do solo	45
3.5 Análise estatística.....	47
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	50
4.1 Análise estatística descritiva	50
4.2 Análise geoestatística	54
4.3 Análise de correlação	57
4.4 Mapas temáticos	60
5 CONCLUSÕES.....	72

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	73
ANEXOS	82
ANEXO A Gráficos de Postplot.....	83

LISTA DE TABELAS

		Página
Tabela 01	Efeito de um nutriente sobre a absorção do outro pela planta..	24
Tabela 02	Classificação do Coeficiente de Variação (CV).....	31
Tabela 03	Níveis de correlação.....	38
Tabela 04	Análise descritiva dos atributos do solo da planta.....	50
Tabela 05	Níveis de interpretação dos atributos químicos do solo (para todas as culturas) com a porcentagem encontrada em cada faixa.....	52
Tabela 06	Modelos e parâmetros dos semivariogramas para as variáveis analisadas.....	54
Tabela 07	Coeficientes de correlação linear de Pearson (R) para os atributos químicos do solo, produtividade, comprimento e diâmetro de frutos da pereira.....	58
Tabela 08	Coeficientes de correlação não-paramétrica de postos de Spearman (R_s) para atributos do solo e dados de produtividade, comprimento e diâmetro de frutos da pereira.	59
Tabela 09	Variáveis que apresentaram aumento de correlação quando avaliadas pelo coeficiente de correlação não-paramétrica de postos de Spearman (R_s) em relação ao coeficiente de correlação linear de Pearson (R).....	60
Tabela 10	Parâmetros do ajuste linear multivariado e coeficiente de determinação para produtividade de pereiras (Prod, kg ha^{-1}).....	70

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 01 Relação entre o pH do solo e a disponibilidade de diversos nutrientes.....	23
Figura 02 Relação esquemática entre saturação por bases e os valores de pH do solo determinados em CaCl_2 0,01M, representativas de amostras superficiais de solos.....	23
Figura 03 Semivariogramas teóricos e parâmetros de ajuste.....	34
Figura 04 Imagem da área experimental obtida pelo programa computacional Google Earth 4.3.....	44
Figura 05 Talhão georreferenciado com a localização de todas as plantas e distribuição espacial em função da variedade	45
Figura 06 Localização dos pontos de amostragem de solo.....	46
Figura 07 Localização dos pontos de amostragem do solo da sub-área (em azul).....	47
Figura 08 Box-plot das variáveis analisadas.....	51
Figura 09 Boxplot dos índices de suficiência nutricional (ISN) para os atributos do solo Zn, P, V%, Fe, C, Ca, K, Mg, Mn e Cu.....	53
Figura 10 Semivariogramas das variáveis: fósforo (mg dm^{-3}), potássio (mg dm^{-3}), cálcio (cmolc dm^{-3}), magnésio (cmolc dm^{-3}), pH, carbono (g dm^{-3}), cobre (mg dm^{-3}), zinco (mg dm^{-3}), ferro (mg dm^{-3}), manganês (mg dm^{-3}), saturação de bases (V %), comprimento do fruto (cm), diâmetro do fruto (cm) e produtividade (kg ha^{-1}).....	55
Figura 11 Índice de variabilidade espacial (IVE, %) como função do alcance (a,m).....	56
Figura 12 Índice de variabilidade espacial (IVE, %) como função do coeficiente de variação (%).....	56
Figura 13 Índice de variabilidade espacial (IVE, %) de cada um dos atributos estudados (a, m).....	57
Figura 14 Espacialização do atributo químico do solo quanto ao teor do fósforo (mg dm^{-3}).....	61
Figura 15 Espacialização do atributo químico do solo quanto ao teor do carbono (g dm^{-3}).....	61
Figura 16 Espacialização do atributo químico do solo quanto ao teor do cálcio (cmolc dm^{-3}).....	62
Figura 17 Espacialização do atributo químico do solo magnésio quanto ao teor do (cmolc dm^{-3}).....	62
Figura 18 Espacialização do atributo químico do solo quanto ao teor do potássio (cmolc dm^{-3})	63
Figura 19 Espacialização do atributo químico do solo quanto ao teor do zinco (mg dm^{-3}).....	63
Figura 20 Espacialização do atributo químico do solo quanto ao teor do cobre (mg dm^{-3})... ..	64

Figura 21	Espacialização do atributo químico do solo quanto ao teor do ferro (mg dm^{-3}).....	64
Figura 22	Espacialização do atributo químico do solo quanto ao teor do manganês (cmolc dm^{-3}).....	65
Figura 23	Espacialização do atributo químico do solo quanto ao pH	66
Figura 24	Espacialização da saturação por bases (V%).....	66
Figura 25	Espacialização do parâmetro diâmetro do fruto (cm)	67
Figura 26	Espacialização do parâmetro comprimento do fruto (cm)	67
Figura 27	Espacialização do parâmetro produtividade (kg ha^{-1})	68
Figura 28	Espacialização de atributos químicos do solo (P, K, Ca, Mg, C, Cu, Zn, Fe, Mn e Saturação por bases) reclassificados, em função das coordenadas métricas – UTM.....	69
Figura 29	Predição do rendimento em função da produtividade observada para o modelo 1.....	70
Figura 30	Predição do rendimento em função da produtividade observada para o modelo 2.....	71

RESUMO

Nos últimos anos, as pesquisas em agricultura de precisão têm focado outras culturas, além dos cereais comumente pesquisados. Dentre elas está a fruticultura de precisão. A pêra é uma das frutas de clima temperado mais preferidas pelos brasileiros, contudo a maior parte consumida é importada. Assim, o objetivo deste trabalho foi mapear a variabilidade espacial dos atributos químicos do solo (P, K, Cu, Zn, Fe, Mn, Ca, Mg, pH, C e saturação por bases), da planta (comprimento e diâmetro do fruto) e da produtividade de pereiras em uma área comercial produtora de pêras. A área experimental contou com 146 pereiras, da variedade Pêra D'água, distribuídas em uma área de 1,24 ha. Foram realizadas quatro colheitas, em função da maturação dos frutos. Em cada colheita, foi realizada a pesagem de todos os frutos obtidos e a produtividade total foi obtida pela soma das colheitas individuais. Os atributos do solo analisados foram: P, K, Ca, Mg, pH CaCl_2 , C, Cu, Zn, Fe, Mn e saturação de bases, e os das plantas foram: comprimento, diâmetro e produtividade. A produtividade das pereiras apresentou baixa correlação com os atributos analisados. Foram encontrados níveis muito baixos de dependência espacial (comprimento do fruto), baixo (P, diâmetro do fruto), médio (Mg, pH, Cu, Zn, Fe), alto (Ca, K, saturação de bases e produtividade) e muito alto (Mn e C), segundo o índice de variabilidade espacial (IVE, %), proposto neste trabalho.

PALAVRAS-CHAVE: fruticultura de precisão, mapas temáticos, pereiras

SPATIAL VARIABILITY OF FRUITS YIELD FROM PEAR PLANTS AND CHEMICAL ATTRIBUTES FROM SOIL

ABSTRACT

In the last few years, the precision agriculture has turned itself to other crops besides cereals, which are already well-known studied. Among them, there is the precision horticulture. Pear is from mild weather and it is very appreciate by brazilian people, although its greatest consumed percentile is imported. Thus, this trial aimed at mapping spatial variability of chemical attributes from soil (P, K, Cu, Zn, Fe, Mn, Ca, Mg, pH, C and base saturation), of the plant (fruit length and diameter) as well as the pear trees yield in a commercial pear plants area. The experimental field had 146 pear plants, var. "Pêra d'água", distributed on a 1.24 ha area. Four harvest procedures were performed according to fruit maturation. In each harvest, the weight of all mature fruits per plant was computed, while the total yield was obtained by the sum of each crop. Hence, the soil attributes analyzed were: P, K, Ca, Mg, pH, CaCl₂, C, Cu, Zn, Fe, Mn and base saturation, while the plants attributes were: length, diameter and yield. The pear yield had low correlation with soil attributes. Levels of spatial dependence were found to be very low (fruit length), low (P, fruit diameter), medium (Mg, pH, Cu, Zn, Fe), high (Ca, K, bases saturation and yield), and very high (Mn and C), according to the spatial variability index (SVI, %), as it is proposed in this study.

KEYWORDS: precision horticulture, pear plants, thematic maps

1 INTRODUÇÃO

A análise tradicional de experimentos de campo parte do princípio de que todas as observações tomadas em posições adjacentes (plantas ou parcelas vizinhas) não são correlacionadas. As variáveis são consideradas aleatórias e independentes entre si, ou seja, não exercem influência umas sobre as outras. Contudo, fenômenos naturais apresentam-se freqüentemente com certa estruturação entre vizinhos. Desta forma, pode-se dizer que as variações não ocorrem inteiramente independentes e apresentam certo grau de dependência espacial.

As variabilidades espaciais dos atributos do solo e da planta, em geral, não são levadas em conta durante o cultivo agrícola, o qual opta, por razões de simplificação, por aplicar práticas homogêneas de manejo do solo na totalidade da área cultivada. Essa prática pode ocasionar o uso de insumos abaixo ou acima da real necessidade do campo de cultivo e, no caso da última, os custos de produção podem ser elevados ao longo dos anos, bem como serem contaminadas as águas superficiais e subterrâneas. É, portanto, importante o conhecimento do comportamento espacial das propriedades químicas e físicas do solo para o aprimoramento das práticas de manejo.

A agricultura de precisão (AP) surgiu no contexto da atividade agrícola no final do século passado, graças ao desenvolvimento e à disponibilidade de algumas tecnologias, dentre as quais estão: o sistema de posicionamento global (GPS), os sensores de produtividade, as técnicas de sensoriamento remoto e os sistemas de aplicações de insumos às taxas variáveis. Tal conceito de manejo de solo e planta se baseia no princípio da aplicação localizada de insumos, em função dos níveis de nutrientes disponíveis no solo ou de acordo com o nível de extração, evitando-se, assim, excesso ou falta de insumo em locais específicos da área.

O mapeamento da variabilidade espacial de atributos químicos e físicos, por intermédio da AP, representa esforços importantes para o manejo de aplicação de insumos com taxas variadas, sendo que, o mapa de produtividade de um talhão é tido como a informação mais completa para a visualização da variabilidade espacial da lavoura. Entretanto, o mapa é apenas uma etapa de todo o processo que envolve a AP e representa o efeito

combinado de diversas fontes de variabilidade espacial e temporal. O mesmo pode ser utilizado na investigação de fatores limitantes à exploração da cultura, tais como diagnóstico, manejo e controle localizado de pragas, plantas daninhas e doenças.

Apesar de a grande parte das pesquisas brasileiras e mundiais em AP serem feitas com grãos, algumas pesquisas aplicadas à fruticultura têm sido também publicadas. No Brasil, são citados trabalhos com *citrus* de BALASTREIRE, AMARAL & ESQUERDO (2002), FARIAS *et al.* (2003), MOLIN & MASCARIN (2007), e MIRANDA *et al.* (2005) que trabalharam com melão. Nos EUA, há citações de WHITNEY *et al.* (1999), SCHUELLER *et al.* (1999) e PRAAT, MOWAT & AMOS (2001) com trabalhos em *citrus*.

Entre as frutas de clima temperado, a pêra (*Pyrus communis*) é uma das preferidas pelos brasileiros, porém, a maior parte é importada. Conseqüentemente, a produção de pêra consiste em uma alternativa agrícola viável aos produtores de áreas da Região Sul do Brasil com aptidão edafoclimática para a cultura. A pêra só é superada pela maçã em expressão econômica nessas áreas.

Assim, o objetivo deste trabalho foi mapear a variabilidade espacial dos atributos químicos do solo (P, K, Cu, Zn, Fe, Mn, Ca, Mg, pH, C e saturação por bases) da planta (comprimento e diâmetro do fruto) e da produtividade de pereiras em uma área comercial produtora da fruta.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Fertilidade de solo e nutrição de plantas

O intenso preparo do solo, por sucessivos anos, reduz a atividade biológica e desequilibra a reciclagem natural de nutrientes do solo (ALVARENGA, 1987). A fertilidade natural do solo é resultado de seus milhares de anos de atividade biológica, física e química sobre seus componentes minerais.

O manejo da fertilidade de solos agrícolas baseia-se na correção de pH, de elementos deficientes e na reposição de nutrientes extraídos pelas colheitas. A correção da fertilidade considera as deficiências ou desequilíbrios de elementos essenciais para o desenvolvimento de plantas cultivadas. A manutenção é baseada na reposição dos nutrientes extraídos pela cultura como produtos da lavoura. A extração e a necessidade de nutrientes variam com a espécie cultivada e com as características químicas e biológicas do solo (CASTRO, 1988).

As plantas alimentam-se exclusivamente de nutrientes minerais, além disso, para crescerem, frutificarem e se reproduzirem, retiram os nutrientes do solo, da água e do ar. Carbono, hidrogênio e oxigênio, chamados de nutrientes fundamentais, são retirados do ar e da água e representam 95 % do total consumido pelas plantas (ANDA, 2007).

Os atributos químicos nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) são chamados de macronutrientes primários; cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) são os macronutrientes secundários, enquanto, boro (B), cloro (Cl), cobre (Cu), cobalto (Co), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mb), níquel (Ni), selênio (Se), silício (Si) e zinco (Zn) são os chamados micronutrientes, todos retirados apenas do solo (ANDA, 2007).

Com relação aos macronutrientes, LOPES (1995) ressaltou que:

- O nitrogênio é necessário para a síntese da clorofila e, como parte da molécula da clorofila, está envolvido na fotossíntese. Algumas vezes, é considerado responsável pelo crescimento lento e atraso na maturação. O excesso do mesmo pode aumentar o crescimento vegetativo, reduzir a formação de frutos e afetar a qualidade da produção;

- O fósforo é essencial para o crescimento das plantas e nenhum outro nutriente pode substituí-lo. A planta precisa do fósforo para completar seu ciclo normal de produção. Tal nutriente também promove a formação e o crescimento prematuros das raízes, melhora a qualidade de muitas frutas, hortaliças e culturas graníferas, sendo vital para a formação de sementes. Ajuda as raízes e plântulas a se desenvolverem mais rapidamente; aumenta a resistência aos rigores do inverno; melhora a eficiência no uso da água e favorece a resistência às doenças em algumas plantas;
- O potássio é vital para a fotossíntese. Tem papel importante no crescimento das plantas e influencia a eficiência no uso da água. O processo de abertura e fechamento dos estômatos é controlado pela concentração de potássio nas células que circundam os estômatos. A falta de potássio faz com que os estômatos se abram apenas parcialmente e se fechem mais lentamente. Isso aumenta o estresse causado pela seca. A aplicação pode, de modo eficiente, reforçar a resistência das culturas de inverno aos danos causados pelo frio ou congelamento;
- O cálcio, o magnésio e o enxofre são tão importantes para a nutrição das plantas como nutrientes primários, apesar das plantas, de modo geral, não os exigirem em grandes quantidades. As deficiências dos nutrientes secundários podem reduzir o crescimento das plantas tanto quanto as dos primários.

Os micronutrientes exercem um papel mais regulatório que estrutural. Desse modo, o ferro faz parte das enzimas relacionadas aos processos de oxidação e redução e daquelas responsáveis pela síntese da clorofila. O molibdênio é co-fator da enzima nitrato redutase. O zinco também faz parte de várias enzimas, inclusive das relacionadas com a síntese do aminoácido triptofano. O boro é importante para os processos de divisão e alongamento celular. Acredita-se também que ele influencie esses processos quando altera o nível de um hormônio vegetal, a auxina, pela ativação de enzimas que oxidam tal hormônio. Por fim, outros micronutrientes como: manganês, cobre,

cloro e níquel também estão envolvidos na regulação da atividade de várias enzimas (PERES, 2002).

É comum a presença de metais pesados em concentrações variadas nos solos brasileiros, as quais estão associadas ao material de origem sobre o qual solo se formou, considerando dos processos de formação, de composição e proporção dos componentes da sua fase sólida (FADIGAS, 2002; CAMARGO, BORBA & ALLEONI, 2003). Ademais, as atividades antrópicas também podem afetar a concentração de metais pesados no solo.

A água de irrigação, a aplicação de fertilizantes e o uso de agrotóxicos podem contribuir para a contaminação dos solos com metais pesados, assim como os esgotos e dejetos de origem industrial e residencial. Com o tempo, o uso agrícola pode levar à contaminação do solo por metais pesados. O uso de insumos e agroquímicos, que possuem cobre e zinco em sua composição, pode levar à contaminação do solo pelos dois elementos. Os efeitos dessa contaminação refletem-se na própria agricultura, incluindo fitotoxicidade por altas concentrações, na manutenção dos processos microbiológicos e na transferência de elementos em níveis tóxicos ao Homem e aos animais (NICHOLSON *et al.*, 2003).

2.2 Manejo do solo

Dentre os componentes do manejo do solo, o preparo do mesmo talvez seja a atividade que mais influi no seu comportamento físico, pois atua diretamente na estrutura do solo (OLIVEIRA *et al.*, 2003). De modo geral, o solo mantido em estado natural, sob vegetação nativa, apresenta características físicas tais como: permeabilidade, estrutura, densidade do solo e porosidade, adequadas ao desenvolvimento normal de plantas (ANDREOLA, COSTA & OLSZEWSKI, 2000). À medida que essas áreas vão sendo incorporadas ao processo produtivo, os atributos físicos e químicos do solo sofrem alterações, cuja intensidade varia com as condições de clima, natureza do solo, uso e manejos adotados (SPERA *et al.*, 2004).

Os atributos indicadores da qualidade do solo são definidos como propriedades mensuráveis que influenciam a capacidade do solo na produção das culturas ou no desempenho de funções ambientais. A quantificação das alterações nos atributos do solo, decorrentes da intensificação de sistemas de

uso e manejo, pode fornecer subsídios importantes para a definição de sistemas racionais de manejo e contribuir para tornar o solo menos suscetível à perda de capacidade produtiva (NEVES *et al.*, 2007).

2.3 Manejo em frutíferas

2.3.1 O clima e a fruticultura

O clima tem grande importância na fruticultura, além disso, condiciona as espécies a serem cultivadas. Cada fruteira tem suas próprias exigências climáticas. Existem fruteiras que se desenvolvem muito bem em climas temperados e úmidos. A macieira é uma delas, assim como a pereira e o pessegueiro. Durante o inverno, despem-se inteiramente das folhas. Com o calor da primavera, novas folhas brotam nessas árvores. Segundo GOMES (1989), as plantas têm certa possibilidade natural de adaptarem-se a climas diferentes dos preferidos. É o caso da pereira, do pessegueiro e do marmeleiro que hoje são cultivados no Sul e Sudeste brasileiro.

As geadas prejudicam muito as fruteiras tropicais, pois queimam as folhas e podem matá-las. Geadas e nevascas extemporâneas podem destruir florações e safras. Ventos ardentes, às vezes, causam danos consideráveis em fruteiras próprias de climas temperados e frios. Os ventos violentos e mais ou menos constantes diminuem a fecundação das flores e, em consequência, a frutificação. A pluviosidade tem grande importância não só em relação à quantidade, mas também à distribuição das chuvas. Cada planta tem suas próprias exigências. De maneira geral, a umidade excessiva torna algumas frutas menos coloridas, saborosas e perfumadas, favorecendo ainda o aparecimento de moléstias criptogâmicas (GOMES, 1989).

2.3.2 O solo e a fruticultura

As condições de solo exercem certa influência sob os custos e a produtividade do pomar. As propriedades físicas, químicas e biológicas do solo interagem na resposta da cultura. Condições físicas e químicas desfavoráveis de solo podem ser melhoradas por medidas corretivas ou com o uso de práticas adequadas para cada situação. Solos naturalmente férteis são os que apresentam o melhor potencial de produção. As condições físicas devem

possibilitar o desenvolvimento natural do sistema radicular, lateralmente e em profundidade, para um melhor aproveitamento da água e da fertilidade natural ou induzida (EMBRAPA, 2003).

2.3.3 Enxertia

Segundo Janick (1996) citado por RIZZO *et al.* (2004), a enxertia envolve a união de partes de plantas distintas que, pela regeneração de tecidos resultante da união física dessas, passam a se desenvolver como uma única planta. A enxertia sobre porta-enxertos apropriados oferece uma série de vantagens em relação ao cultivo normal, como a redução de doenças causadas por fungos de solo, tais como *Fusarium sp.*, *Phytophthora melonis*, aumento da tolerância às baixas temperaturas, à salinidade e ao excesso de umidade do solo. A enxertia colabora também para o melhor aproveitamento de água e nutrientes, para o aumento do vigor da planta e prolongamento do período de colheita, pois, na maioria das vezes, o porta-enxerto possui sistema radicular mais vigoroso que o da planta enxertada (RIZZO *et al.*, 2004).

2.3.4 Tratos culturais

Os tratos culturais consistem em regas, capinas, podas, adubações e controle à erosão e são realizados sempre que necessários. Eles visam manter o pomar suficientemente livre de ervas daninhas, sem que essas compitam com as fruteiras pela absorção de água e de elementos nutritivos e sem que lhes tirem a ação direta e indispensável do sol. Assim, a resistência das fruteiras aumentará com o decorrer dos anos (GOMES, 1989).

A poda consiste da retirada planejada de partes da planta, visando modificá-la para atender aos objetivos definidos pelo homem. Compreende técnicas e arte na modificação do crescimento natural das plantas.

Como objetivos da poda, podem ser mencionados: modificar o vigor da planta; controlar o porte dela, mantendo-a com a forma e dentro dos limites apropriados; estimular o equilíbrio entre o crescimento reprodutivo e vegetativo da planta e, com isso, produzir mais e melhores frutos, sem alternância de produção; suprimir ramos supérfluos, inconvenientes, atacados por pragas e doenças ou mortos; proporcionar facilidade na execução de tratos culturais e colheita; e facilitar a entrada de ar e luz no interior da planta, com a abertura da

copa, o que facilita também o controle de pragas e doenças (ZAMBOLIM, 2003).

2.3.5 Polinização

Este processo constitui-se na transferência dos grãos de pólen da parte masculina para a parte feminina da flor, possibilitando a fecundação dessa e conseqüentemente o desenvolvimento do fruto e das sementes. Atualmente, a polinização é um fator de produção fundamental na condução de muitas culturas agrícolas ao redor do mundo. Além do aumento no número de vagens ou frutos vingados, a polinização, bem conduzida, também está associada ao aumento no número de grãos por vagem; melhora a qualidade dos frutos e diminui os índices de má formação; aumenta o teor de óleos e outras substâncias extraídas dos frutos; encurta o ciclo de certas culturas agrícolas e ainda uniformiza o amadurecimento dos frutos, diminuindo as perdas na colheita (Williams *et al.*, 1991, citados por FREITAS, 2005).

A maior parte das espécies vegetais necessita de polinização cruzada, ou seja, da transferência de pólen de uma flor para outra, na mesma planta ou em plantas diferentes da mesma espécie. O agente principal da polinização cruzada é o vento, mas, em algumas espécies, insetos e pássaros são também importantes. As espécies que possuem polinização cruzada normalmente têm uma grande variabilidade genética, e isto facilita o trabalho de melhoramento através de cruzamentos entre variedades. Os processos de desenvolvimento de híbridos são facilitados nas espécies de fecundação cruzada (CORREA, 2005).

2.3.6 Quebra da dormência

As plantas frutíferas de clima temperado apresentam o fenômeno da dormência. Nesse período, durante o inverno, ocorre a conversão do amido em açúcares solúveis, como substrato para a retomada de crescimento na primavera. O amido é o mais importante carboidrato de reserva nas plantas. No inverno, essas reservas amiláceas são parcialmente convertidas em açúcares solúveis dentro das partes aéreas e das raízes finas. Nas plantas frutíferas de clima temperado, as reservas são essencialmente utilizadas na primavera (Lacoite *et al.*, 1993, citados por RODRIGUES *et al.*, 2006). A mobilização dos

açúcares solúveis está diretamente ligada aos eventos climáticos, principalmente à temperatura, e tem grande importância nos estudos de adaptação de frutíferas de clima temperado (RODRIGUES *et al.*, 2006).

A dormência é a suspensão temporária do crescimento visível de estruturas das plantas contendo um meristema. Esse período vai desde a paralisação do crescimento, no fim do verão, até o início da brotação, na primavera seguinte.

Em regiões com altitude inferior a 1.200 m, em que não ocorre frio suficiente para a quebra de dormência das gemas, é necessário um tratamento químico para uniformizar a brotação e floração. Como a intensidade de frio varia de um ano para outro, devem-se estabelecer a época de aplicação e as dosagens dos produtos anualmente. Via de regra, recomenda-se o uso de óleo mineral associado à cianamida hidrogenada em pulverização no final do período de dormência. A pulverização deve atingir todos os ramos da planta, pois o efeito do tratamento é localizado. A época mais adequada para a aplicação é no início do inchamento das gemas, o qual, normalmente, ocorre entre 20 e 30 dias antes do início da brotação normal (EMBRAPA, 2003).

2.4 Deficiência de nutrientes minerais

Os nutrientes inorgânicos possuem funções específicas nos vegetais e os sintomas correspondentes à sua falta podem ser deduzidos levando-se em conta o não cumprimento de tais funções. Plantas deficientes em N apresentam-se amareladas e com crescimento reduzido. A clorose se desenvolve primeiro nas folhas mais velhas, enquanto as mais novas permanecem verdes. Em casos de deficiências severas, as folhas adquirem coloração marrom e morrem. Já a deficiência de P tem influência drástica na produção agrícola, principalmente de frutos e grãos. As folhas mais velhas apresentam cor verde escura. Plantas deficientes em K têm a turgidez reduzida e, sob deficiência de água, tornam-se flácidas. A resistência à seca é reduzida e as plantas tornam-se mais susceptíveis aos fungos (RAIJ, 1991).

Assim como o N, o Fe e o Mg estão envolvidos na formação da molécula de clorofila, a falta de qualquer um desses nutrientes pode levar a um sintoma de clorose (amarelecimento), ou seja, falta de clorofila. Na deficiência de ferro, as folhas jovens tornam-se cloróticas, pois esse nutriente não possui

mobilidade suficiente para ser suprido a partir das folhas maduras. A deficiência de Mg também provoca clorose, porém essa ocorre entre as nervuras das folhas. Além da clorose, outros sintomas bastante comuns são: o subdesenvolvimento (enfezamento) e as lesões necróticas (morte dos tecidos) (PERES, 2002).

O excesso de certos macronutrientes pode provocar a deficiência de alguns micronutrientes. O Zn tem sua solubilidade afetada pelo pH, e as calagens a valores de pH acima de 6,0 podem induzir deficiências. Além disso, o Zn é fortemente retido em solos argilosos, o que pode agravar as deficiências. Os fosfatos tendem a reduzir a solubilidade do Zn e são conhecidas as deficiências desse elemento quando induzidas por adubações fosfatadas elevadas.

O Cu, o Mn e o Fe têm a solubilidade reduzida com a elevação do pH, sendo a deficiência mais comum para Cu e Mn em solos orgânicos. Enquanto a deficiência de Fe pode ocorrer em solos alcalinos, resultando ainda, de vários outros fatores associados, como desbalanceamento com Cu e Mn em excesso de P (RAIJ, 1991).

2.5 Relações entre cátions trocáveis e pH

O pH do solo influencia a solubilidade dos nutrientes e conseqüentemente a disponibilidade dos mesmos para as plantas. Em pH igual a 7,0, todos os macronutrientes estão disponíveis para as plantas, mas o zinco, o cobre, o manganês e o ferro são insolúveis em pH elevado (Figura 01). O ideal é chegar-se a um valor intermediário de pH em que todos os nutrientes estejam disponíveis. Outro importante efeito do aumento do pH do solo é a insolubilização e precipitação do alumínio. O alumínio é muito tóxico para as plantas e, ao ser precipitado, sua absorção pelos vegetais é evitada. O aumento do pH dos solos é conseguido com a utilização de calcário ($\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$) (RAIJ, 1991).

Segundo RAIJ (1991), é surpreendente o elevado grau de correlação existente entre a saturação por bases do solo e o pH. A saturação por bases expressa a parte da CTC (capacidade de troca de cátions) ocupada por cálcio, magnésio e potássio.

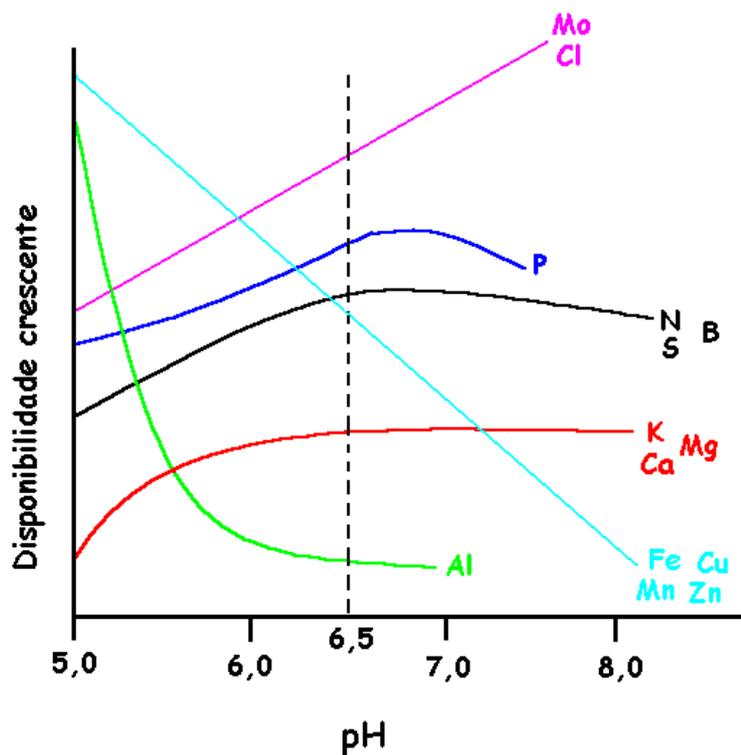


Figura 01 Relação entre o pH do solo e a disponibilidade de diversos nutrientes
Fonte: PERES (2002)

Para amostras de solos da camada arável, a relação entre a saturação por bases e valores de pH, medidos em água e solução de CaCl_2 , é esquematizada na Figura 02.

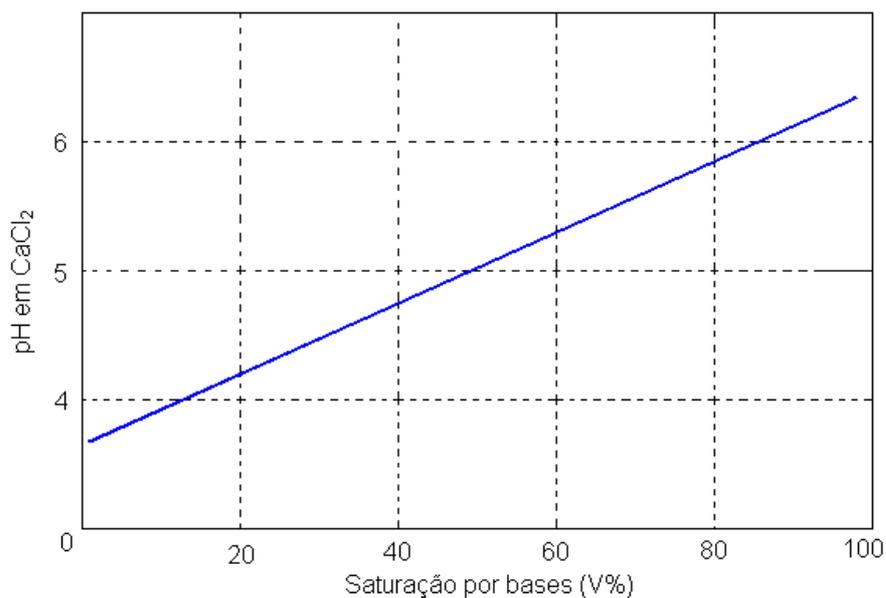


Figura 02 Relação esquemática entre saturação por bases e os valores de pH do solo determinados em CaCl_2 0,01M, representativas de amostras superficiais de solos

Fonte: Adaptado de RAIJ, (1991)

2.6 Absorção e disponibilidade de nutrientes

As plantas obtêm os nutrientes que necessitam através da absorção pelas raízes dos elementos existentes na solução do solo. A absorção desses elementos ocorre por três processos: interceptação radicular, fluxo de massa e difusão. O teor disponível de um nutriente em uma determinada condição depende, além das formas químicas em que o mesmo se encontra no solo, da capacidade de absorção da cultura, do desenvolvimento do sistema radicular, do tempo de crescimento e, ainda, das condições climáticas e disponibilidade dos outros nutrientes (RAIJ, 1991).

A absorção pode ser influenciada pela presença de outros nutrientes (Tabela 01) e a sua mobilidade no solo.

Tabela 01 Efeito de um nutriente sobre a absorção do outro pela planta

1º Nutriente	2º Nutriente	Efeito do 2º sobre o 1º	observação
Cu	Ca ²⁺	Antagonismo	A presença do 2º nutriente diminui a toxidez do 1º
Mg ²⁺ , Ca ²⁺	K ⁺	Inibição competitiva	
H ₂ PO ₄ ⁻	Al ³⁺	Inibição não competitiva	
K ⁺ Ca ²⁺ Mg ²⁺	Al ³⁺	Inibição competitiva	
H ₂ BO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻ NH ₄ ⁺	Inibição não competitiva	
K ⁺	Ca ²⁺ (Alta concentração)	Inibição competitiva	
SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Inibição competitiva	
MO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	Inibição competitiva	O excesso do 2º nutriente provoca diminuição da absorção do 1º
Zn	Mg ²⁺	Inibição competitiva	
Zn	Ca ²⁺	Inibição competitiva	
Zn	H ₂ BO ₃ ⁻	Inibição não competitiva	
Zn	H ₂ PO ₄ ⁻	Inibição não competitiva	
Fe	Mn	Inibição competitiva	
Cu	MO ₄ ³⁻	Inibição competitiva	
K ⁺	Ca ²⁺ (baixa concentração)	Sinergismo	A presença do 2º nutriente aumenta a absorção do 1º
MO ₄ ³⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	Sinergismo	
H ₂ PO ₄ ⁻	Mg ²⁺	Sinergismo	

Fonte: COSTA & OLIVEIRA (2001)

2.7 Adubação

As frutas, apesar de exercerem destacada importância à nutrição humana, sobretudo em vitaminas e sais minerais, devem possuir atributos externos e internos que garantam sua qualidade e aceitabilidade pelo consumidor. A qualidade superior dos frutos de determinada frutífera pode ser obtida tanto pelo melhoramento genético como pelo manejo adequado da cultura, no qual se destacam o fornecimento balanceado de água e de nutrientes, o controle de plantas invasoras e o monitoramento fitossanitário (SILVA *et al.*, 2006).

Nesse sentido, programas de adubação têm sido mais efetivos no que se refere à produção total por área ou produtividade, sem dispensar a mesma importância para a qualidade do produto colhido. Por isso, muitas vezes, há perdas de qualidade dos frutos que assumem determinada importância conforme a finalidade da produção. Desta forma, a fertilização do solo e a nutrição mineral das plantas exercem efeitos quantitativo e qualitativo na produção da grande maioria das plantas cultivadas (MALAVOLTA, VITTI & OLIVEIRA, 1997; ARAGÃO *et al.*, 2002).

A adubação, de um modo geral, é uma das práticas que menos contribui para o custo de produção das fruteiras temperadas. No entanto, quando a mesma é feita de forma criteriosa, satisfazendo apenas as necessidades das plantas, consegue-se uma significativa redução do referido custo, resultando em maior retorno econômico do investimento. Assim, a decisão de realizar a adubação deve envolver não somente os aspectos agrônômicos como também os econômicos (FREIRE, 2002).

Em um experimento que visou estudar a resposta de bananeiras à aplicação de calcário, no Vale do Ribeira (SP), SAES (1995) monitorou a evolução da fertilidade do solo e teve que reaplicar os tratamentos com calcário após três ciclos de cultivo, pois observou um decréscimo significativo no pH e na saturação por bases. BATAGLIA & SANTOS (1999) detectaram incrementos lineares na acidez do solo cultivado com seringueira em função de doses de N. Em citros, alterações significativas no pH do solo e saturação por bases foram atribuídas à adubação nitrogenada (SANCHES *et al.*, 1999).

As adubações nitrogenadas e potássicas apresentam grande importância para várias frutíferas, uma vez que interferem não só na

quantidade produzida, mas também na qualidade do fruto. O nitrogênio e o potássio são os nutrientes que têm apresentado maiores respostas em termos de qualidade dos frutos. Altas doses de nitrogênio reduzem o teor de sólidos solúveis do suco dos frutos. Entretanto, doses mais elevadas de potássio têm aumentado esse teor na maioria das plantas estudadas. Isso indica que o balanço de nitrogênio e de potássio é extremamente importante para a qualidade dos frutos (ARAÚJO, 2001).

Em cultivos de banana de alto rendimento ($70.000 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) e para as condições da América Central, LÓPEZ & ESPINOSA (1995) estimaram uma quantidade de nutrientes exportada com os frutos superior a $400 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de K, 125 de N e 15 de P. Os autores destacaram que a manutenção de rendimentos elevados ao longo do tempo depende da reposição dos nutrientes exportados por meio de adubações.

Além da exportação, podem ocorrer perdas de nutrientes do sistema solo-planta devido à volatilização, erosão e lixiviação. Perdas de nutrientes por lixiviação e escoamento superficial em bananais, sob diversas condições de solo e clima, foram avaliadas numa série de trabalhos descritos por Godefroy *et al.* (1975), citados por TEIXEIRA, NATALE & RUGGIERO (2001), nos quais se determinaram perdas entre 60 e 85 % dos fertilizantes aplicados (exceto para P), sendo N, K, Ca e Mg perdidos predominantemente (85 a 95 %) por lixiviação. Em estudo realizado num solo caulínítico, com 530 g kg^{-1} de argila, observaram-se também perdas elevadas de N e K pela água de drenagem no perfil do solo (GODEFROY & DORMOY, 1990).

2.8 Agricultura de precisão (AP)

Segundo QUEIROZ, DIAS & MANTOVANI (2000), a AP é a tecnologia cujo objetivo consiste em aumentar a eficiência, com base no manejo diferenciado de áreas na agricultura. BLACKMORE (1994) considera que os principais benefícios da AP convergem para a diminuição dos custos de produção e redução expressiva dos riscos de poluição decorrentes da menor quantidade de aplicações de produtos químicos. Esta tecnologia modifica as técnicas existentes e incorpora novas, como os sistemas de informações geográficas (SIGs) que fornecem ferramentas aos especialistas em manejo agrícola.

Os SIGs, devido a sua crescente utilização, vêm incorporando novos princípios e procedimentos de análise espacial. Esse esforço deve-se ao consenso, hoje existente, de que seu sucesso depende de sua capacidade para gerar cenários confiáveis, por meio de um conjunto de procedimentos e ferramentas para a modelagem espacial, que possam representar adequadamente, em meio digital, as propriedades, os processos e suas imprecisões. A associação de procedimentos de estatísticas espaciais aos SIGs é importante porque permite representações com hipóteses mais próximas do contínuo dos fenômenos ambientais além de quantificar as imprecisões associadas aos produtos trabalhados (CAMARGO *et al.*, 2007).

As técnicas de geoprocessamento fornecem subsídios para a identificação e a correlação das variáveis que afetam a produtividade por meio da sobreposição, cruzamento e regressão, em sistemas de informação geográfica (SIGs), de mapas digitais do relevo, dos atributos do solo e da produtividade.

O mapa de produtividade pode indicar a localização de áreas críticas em termos de rentabilidade, enquanto os mapas dos atributos do solo e do relevo, por meio de seus respectivos modelos digitais de elevação (MDEs), podem auxiliar na identificação dos fatores que estão limitando a produtividade, informação fundamental para a tomada de decisões. Para tanto, há necessidade da utilização de modelos estatísticos capazes de predizerem a produtividade (ORTIZ, 2007).

Independente da origem, por processos naturais de clima e solo ou por diferenças em manejos das culturas, a variabilidade de campo deve ser administrada apropriadamente na agricultura de precisão (MOLIN, 1997). Diferentes formas de analisar o problema têm sido propostas. GOERING & HAN (1993) e BLACKMORE (1994) mencionam duas alternativas estratégicas associadas à agricultura de precisão. A primeira seria a obtenção de produtividades maiores utilizando a mesma quantidade de insumos consumida em aplicação uniforme e a outra seria a de produzir o mesmo que em uma aplicação uniforme, mas com menos insumos.

Ao contrário do conceito convencional da aplicação de insumos pela média, em que extensas áreas são gerenciadas de forma idêntica, como um sistema uniforme, a aplicação à taxa variável (ATV), também denominada de

"*variable rate technology*" (VRT), diminui os riscos de contaminação ambiental causados pela aplicação de alguns nutrientes em doses acima da necessária, e de ineficiência do insumo devido à aplicação de doses abaixo da necessária às reais necessidades de cada local. Além disso, essa técnica pode reduzir os custos de produção, com a economia de insumos aplicados, provocada pela otimização na utilização dos mesmos, mantendo ou melhorando o nível de produção e acarretando ganho de produtividade e maximização dos lucros (ORTIZ, 2007).

A variabilidade dentro de um pomar de citros foi também verificada nos trabalhos de WHITNEY *et al.* (1999) e SCHUELLER *et al.* (1999), os quais relatam que, sob desigualdade de produção, o aproveitamento dos insumos aplicados uniformemente torna-se ineficiente em algumas áreas, além do desperdício desses produtos químicos em outras áreas, aumentando a contaminação do meio ambiente.

Sugere-se que a confecção de mapas de produtividade da cultura deve ser o primeiro passo para a adoção do manejo localizado, pois permite a visualização completa da variabilidade dos fatores de produção. As análises desses mapas, da correlação entre as propriedades do solo e da cultura permitem a tomada de decisões de manejo associadas à irrigação e drenagem, ao plantio, à aplicação localizada de sementes, fertilizantes e corretivos, herbicidas e defensivos agrícolas e à intensidade do preparo do solo (SCHUELLER, 2000).

SALVIANO, VIEIRA, & SPAROVEK (1998) mapearam os macronutrientes do solo na profundidade de 0-20 cm. O trabalho foi desenvolvido no município de Piracicaba (SP), numa área de 0,35 ha que vem sendo explorada com cana-de-açúcar há mais de 30 anos e onde já se visualizam sulcos de erosão. As análises químicas indicaram que os valores de P variaram entre 5,0 e 32,5 mg dm⁻³; para Ca entre 0,20 e 3,31 cmolc Kg⁻¹; e para V % entre 7,5 e 79,5 %.

BAIO (2001) desenvolveu e avaliou uma metodologia para avaliação da eficiência e da economia de herbicida em aplicação localizada de defensivos e o estudo da correlação da variabilidade espacial entre espécies de plantas daninhas bem como os atributos da fertilidade do solo (camada de 0-20 cm) em duas áreas vizinhas, uma com 8,8 ha e outro com 9,8 ha,

localizadas no município de Campos Novos Paulista, SP. O sistema para aplicação localizada de defensivos permitiu uma economia de 31,6% de herbicida, quando comparado à aplicação em área total com dosagem única.

FARIAS *et al.* (2003) mapearam a produtividade de pomares de laranja natal, irrigados (aproximadamente 185 ha) e não irrigados (aproximadamente 174 ha), localizados no município de Luiz Antonio (SP). Observou-se uma alta variabilidade da produtividade nas duas áreas. Nos mapas de distribuição da produtividade na área irrigada e não-irrigada, pôde-se notar que a irrigação, provavelmente, não foi o único fator responsável pela sua alta variabilidade. Neste caso, se fosse somente o fator irrigação, o mapa apresentar-se-ia mais homogêneo quanto à produtividade. Logo, a variabilidade pode ser baixa, média ou alta.

SHIRATSUCHI (2001) estudou o comportamento da variabilidade espacial das plantas daninhas e seu respectivo banco de sementes com a utilização de ferramentas da agricultura de precisão em uma área de 8,5 ha, localizada no município de Pirassununga, SP. Foram realizados quatro experimentos para avaliarem-se as variabilidades espacial e temporal e analisar a potencialidade que a mesma pode proporcionar para o manejo racional das plantas daninhas, principalmente a possibilidade da aplicação localizada de herbicidas.

Um experimento consistiu de uma avaliação da eficácia da aplicação localizada de herbicidas pós-emergentes, na cultura da soja, baseada em mapas de infestação das plantas daninhas. Os resultados indicaram que qualquer atitude de manejo e controle baseados na média de infestação das plantas daninhas estaria superestimando a infestação em 60 %. Foi obtida uma economia de produto da ordem de 18 a 44 %, sendo a eficácia semelhante à aplicação convencional ao se utilizar dose única e pulverização uniforme em área total. Noutro experimento, foi realizada uma pulverização localizada de herbicida pré-emergente, baseada no mapeamento prévio do banco de sementes das plantas daninhas, em que se verificou uma eficácia igual à convencional e economia de 22 % do produto herbicida.

2.9 Amostragem de solos

Para que os resultados de uma análise química de solo tenham validade e representatividade, é indispensável o máximo de cuidado e critério na coleta de amostras que deverão ser enviadas ao laboratório. Nenhuma análise é melhor que uma boa coleta de amostras, pois elas representam toda a área da propriedade onde deverão ser aplicados os corretivos e fertilizantes.

Os esquemas de amostragem podem ser divididos em duas categorias: ao acaso e sistematizada. A amostragem ao acaso refere-se ao método que tem sido recomendado para a agricultura convencional. Enquanto a amostragem sistematizada é o sistema recomendado para aplicação das tecnologias da agricultura de precisão; ela é também o método mais adequado para estudar a variabilidade espacial das propriedades do solo de uma área, já que a variabilidade, em todas as direções, é levada em consideração.

O método mais comum para a amostragem sistemática de solos em uma área é o de sobrepor uma grade quadrada ou retangular em um mapa ou fotografia da área; identificar e dirigir-se ao local e coletar amostras de solos em cada célula. Dentro de cada célula, a amostragem pode ser ao acaso, coletando-se várias subamostras, ou pode ser pontual (EMBRAPA, 2000).

2.10 Análise estatística

A análise estatística exploratória dos dados é uma etapa fundamental que antecede a análise geoestatística. Deve-se verificar a normalidade dos dados e se há candidatos a dados discrepantes (“*outliers*”) ou a necessidade de transformação dos dados para sua normalização (LEAL, 2002).

Para que os dados sejam organizados e descritos formalmente, de modo que possam ser explorados, procurando possíveis tendências ou mesmo para o relato e exposição de suas características, utilizam-se técnicas chamadas descritivas ou exploratórias. O maior interesse, depois de obtidos os dados, é saber como os dados estão se comportando. Uma descrição dos mesmos com suas propriedades deve dar uma idéia global sobre o conjunto de dados, como os valores das variáveis observadas estão se distribuindo entre os indivíduos, e se houver, indicar quais as tendências (SILVA *et al.*, 2007).

Tradicionalmente, a análise descritiva limitava-se a calcular algumas medidas de posição e variabilidade. No final da década de 70, Tukey criou uma

nova corrente de análise. O pesquisador utilizou, principalmente, técnicas visuais, que descrevessem quase sem utilizar cálculos, alguma forma de regularidade ou padrão nos dados, em oposição aos resumos numéricos. Nessa etapa, é possível produzir tabelas, gráficos e medidas que descrevam a tendência dos dados, quantifiquem a sua variabilidade, permitam a detecção de estruturas interessantes e valores atípicos no banco de dados.

O gráfico de boxplot fornece informações sobre posição, dispersão, assimetria, caudas e valores discrepantes (CONCEIÇÃO, ALENCAR & ALENCAR, 2007).

Tanto a média como o desvio padrão podem não ser medidas adequadas para representar um conjunto de valores, uma vez que são afetados, de forma exagerada, por valores extremos, e apenas com esses dois valores não se tem idéia da simetria ou assimetria da distribuição dos dados (BUSSAB & MORETTIN, 2003). Uma possibilidade, ao se comparar a variabilidade de dois conjuntos de dados, é usar o coeficiente de variação (CV), definido como a razão entre o desvio padrão, S , e a média amostral (\bar{X}), geralmente expresso em porcentagem:

$$CV = \frac{S}{\bar{X}} 100\% \quad (1)$$

GOMES (1987) classificou o CV em quatro classes, as quais são apresentadas na Tabela 02.

Tabela 02 Classificação do coeficiente de variação (CV)

Faixa de variação	CV
$0 < CV \leq 10\%$	Baixo
$10 < CV \leq 20\%$	Médio
$20 < CV \leq 30\%$	Alto
$CV > 30\%$	Muito alto

Fonte: Adaptado de Gomes (1987)

2.11 Análise espacial e geoestatística

Áreas consideradas pedologicamente similares podem apresentar variabilidade nos atributos quando submetidas a diferentes práticas de manejo. O manejo pode alterar os atributos químicos, físicos, mineralógicos e

biológicos, com impacto principalmente nas camadas superficiais do solo (MARQUES JÚNIOR, 2000).

A análise de dados obtidos em condições de campo tem apresentado discussões nas diversas áreas da ciência, devido à variabilidade espacial. Quando se trata da variabilidade do solo, as dificuldades tornam-se maiores porque, sendo a formação do solo resultante de uma série de fatores, o produto final é bastante heterogêneo em relação às suas características e propriedades (SILVA *et al.*, 1989). Em áreas cultivadas, além da variabilidade natural do solo, existem fontes adicionais de variabilidade devido ao manejo humano, como o cultivo em linhas e a conseqüente aplicação localizada de fertilizantes (JOHNSON, MORTENSEN & GOTWAY, 1996; SOUZA, COGO & VIEIRA, 1997).

Conhecer a variabilidade espacial dos atributos do solo que controlam a produtividade das culturas é um fator indispensável à instalação de um programa de agricultura de precisão. Existem várias técnicas disponíveis para conhecer tal variabilidade, tais como: amostragem do solo, utilização de sensores, técnicas de sensoriamento remoto ou, ainda, utilização de modelos de simulação (CORÁ & MARQUES JÚNIOR, 1998).

Um conceito-chave na compreensão e análise dos fenômenos espaciais é a dependência espacial. Essa noção parte do que Waldo Tobler (1970), citado por CÂMARA *et al.* (2004) chamou de primeira lei da geografia: “todas as coisas são parecidas, mas coisas mais próximas se parecem mais que coisas mais distantes”. Generalizando, pode-se afirmar que a maior parte das ocorrências, sejam elas naturais ou sociais, apresentam entre si uma relação que depende da distância.

De acordo com RIBEIRO JÚNIOR (1995), após um período em que a ênfase era nos delineamentos experimentais, quando normalmente se utilizam blocos como forma de “controlar” a variabilidade, os estudos que buscavam compreender as relações de dependência espacial ganharam novo impulso com o desenvolvimento e formalização das técnicas geoestatísticas.

Segundo LAMPARELLI, ROCHA & BORGHI (2001), a geoestatística é um conjunto de técnicas que estima valores regionalizados e espacializados de atributos ou características de determinada área a ser estudada. A ferramenta básica desta técnica é a krigagem, cujo produto é um mapa da área segundo

um atributo com estimativas não viciadas e de mínima variância. A modelagem geoespacial, por meio da geoestatística, permite a descrição quantitativa da variação espacial no solo e a estimativa não-tendenciosa da variância mínima de valores das propriedades, em locais não-amostrados, subsidiando a construção de mapas de valores e a identificação de esquemas de amostragens eficientes (QUEIROZ *et al.*, 1997).

De acordo com VIEIRA (1995), a análise geoestatística dos dados consiste em tentativas e erros para a elaboração do melhor modelo de um semivariograma teórico, visando à geração de um mapa que represente realmente a situação no campo pelo processo de interpolação.

O sucesso e as suposições das técnicas geoestatísticas estão fundamentados na teoria das variáveis regionalizadas, a qual foi desenvolvida por MATHERON (1963). A variável regionalizada é distribuída no espaço (ou tempo). A teoria diz que alguma medida pode ser vista como realização de uma função aleatória (ou processo aleatório, ou campo aleatório, ou processo estocástico). Esta teoria consolida o alicerce da geoestatística (CAMARGO *et al.*, 2007).

Para a aplicação das técnicas de geoestatística, necessita-se, primeiramente, detalhar a área onde será implantado o estudo. Para tanto, todas as informações devem ser conhecidas e localizadas por um processo de amostragem dentro de uma região geográfica definida.

Esse processo é viabilizado pela implantação de um sistema de coordenadas locais ou geográficas, onde cada atributo ou característica do solo terá suas informações quantitativas e/ou qualitativas (relevo, granulometria, textura, teor de argila, acidez ou alcalinidade, níveis de salinidade e sodicidade, matéria orgânica, etc.) associados a um ponto no espaço. E as informações podem ser obtidas por meio de coleta *in loco*, mapas temáticos, imagens de satélite ou fotografias aéreas. Para que as informações sejam referenciadas, utiliza-se o GPS (Sistema de Posicionamento Global), ou de forma mais simplificada pela topografia convencional, obtendo-se coordenadas locais (BOLFE, 2005).

Para a determinação da variabilidade espacial de atributos do solo, expressando o grau de dependência espacial entre amostras, por meio de seus parâmetros, em um campo específico, é utilizado o semivariograma. O

semivariograma é um gráfico que representa a semivariância $\gamma(h)$ dos dados em relação à distância correspondente que os separa (MASCARIN, 2006).

A semivariância é uma medida do grau de dependência espacial entre as amostras. Assim, todos os possíveis pares são analisados. E, quando a distância entre os pares é zero, significa que o valor em cada ponto é comparado com ele mesmo, logo, as diferenças são zero e o valor da semivariância também é zero. Para o semivariograma experimental, é ajustada a curva que proporciona a máxima correlação possível com os pontos plotados. O modelo ajustado é chamado de modelo teórico do semivariograma. No modelo ajustado, é possível a obtenção de valores dos parâmetros de 'alcance', 'patamar' e 'efeito pepita' (Figura 03).

Na medida em que h aumenta, $\gamma(h)$ também aumenta até um valor máximo no qual se estabiliza. O valor $\gamma(h)$ de estabilização chama-se patamar (*sill*), representado por $(C_1 + C_0)$, ou seja, a soma do efeito pepita C_0 com a contribuição C_1 . O patamar $(C_1 + C_0)$ é aproximadamente igual à variância da variável Z em estudo. A distância na qual $\gamma(h)$ atinge o patamar é chamada de alcance (*range*), recebe o símbolo a e corresponde à distância limite de dependência espacial (VIEIRA et al., 1997). Para distâncias menores que o alcance, as variáveis são espacialmente dependentes, podendo ser usada a geoestatística. Já em distâncias maiores, há independência entre as variáveis, podendo ser aplicada a estatística clássica (SILVA, 1988).

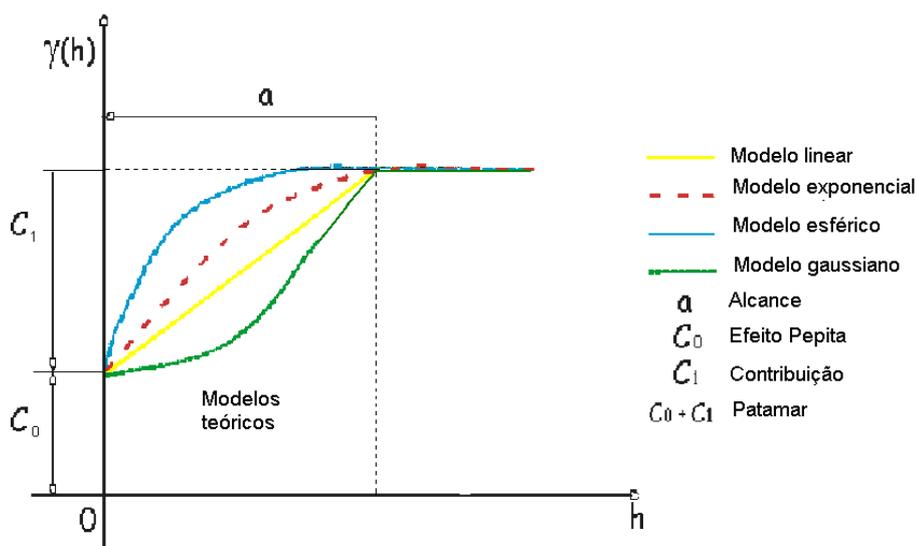


Figura 03 Semivariogramas teóricos e parâmetros de ajuste
Fonte: Adaptado de MILANI (2005)

À medida que h tende a 0 (zero), $\gamma(h)$ se aproxima de um valor positivo chamado efeito pepita (C_0), revelando a descontinuidade do semivariograma para distâncias menores do que a menor distância entre as amostras. Parte dessa descontinuidade, segundo ISAACS & SRIVASTAVA (1989), pode ser também devido 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.

Quando o efeito pepita (C_0) for aproximadamente igual ao patamar (C_1+C_0), denomina-se 'efeito pepita puro', demonstrando que a amostra não recebe influência espacial. O efeito pepita é uma componente aleatória, produzida pela qualidade e quantidade das informações disponíveis, a qual também pode ser produzida por algum fenômeno natural, mas desconhecido da variável (CRESSIE, 1993).

Os semivariogramas expressam o comportamento espacial da variável regionalizada ou de seus resíduos e mostram o tamanho da zona de influência em torno de uma amostra, a variação nas diferentes direções do terreno e a continuidade da característica estudada no terreno (LANDIM, 1998).

Para VIEIRA (1998), dependendo do comportamento de $\gamma(h)$ para elevados valores de h , os modelos podem ser classificados com e sem patamar. Modelos com patamar são referenciados na geoestatística como transitivos. Alguns modelos transitivos atingem o patamar ($C_1 + C_0$) assintoticamente. Para tais modelos, o alcance a é arbitrariamente definido como a distância correspondente a 95 % do patamar. Modelos sem patamar continuam aumentando enquanto a distância aumenta, e são utilizados para modelar fenômenos que possuam capacidade infinita de dispersão. Os modelos transitivos mais utilizados (Figura 01) são: esférico, exponencial e o gaussiano.

Para a confecção do semivariograma, todos os dados são pareados em todas as combinações possíveis e agrupados dentro de classes (*lags*) de distâncias e direções aproximadamente iguais. Os semivariogramas experimentais são construídos nesse processo e, neles, pode ser verificada a possibilidade de as variáveis estudadas possuírem a propriedade de anisotropia que significa a não homogeneidade das distribuições das variâncias

para as direções 0° , 45° , 90° e 135° no espaço (ENGLUND & SPARKS, 1988). Quando o semivariograma é isotrópico, apenas um semivariograma (o unidirecional) é suficiente para descrever a variabilidade da variável no campo.

O grau de dependência espacial pode ser classificado de acordo com o índice de dependência espacial (IDE, Equação 2); neste sentido, CAMBARDELLA *et al.* (1994) propuseram os seguintes intervalos para avaliar a porcentagem da semivariância do efeito pepita: $\leq 25\%$ - forte dependência espacial; entre 25% e 75% - moderada dependência espacial e $\geq 75\%$ - fraca dependência espacial.

$$IDE = \frac{C_0}{C_1 + C_0} \cdot 100 \quad (2)$$

Como relatou Krige (1966), citado por LEAL (2002), a presença da dependência espacial requer o uso de um tipo de estatística chamada geoestatística, que surgiu na África do Sul, onde o autor estava trabalhando com dados de concentração de ouro e concluiu que não conseguiria encontrar sentido nas variâncias, se não considerasse a distância entre amostras. O procedimento geoestatístico de interpolação é também chamado de krigagem, em homenagem a Daniel Krige. O que diferencia a krigagem dos outros métodos de interpolação é a estimação de uma matriz espacial que determina os pesos atribuídos às diferentes amostras, o tratamento da redundância dos dados, a vizinhança a ser considerada no procedimento inferencial e o erro associado ao valor estimado. Além disso, a krigagem também fornece estimadores com propriedades de não tendenciosidade e eficiência (DRUCK *et al.*, 2004).

A krigagem pode ser afetada pela estrutura e variabilidade espacial dos dados (LEENAERS *et al.*, 1990), e pela escolha do modelo do variograma, do raio pesquisado e pelo número de vizinhos próximos utilizados para a estimação. A dependência entre duas variáveis regionalizadas é representada pelo variograma que relaciona uma propriedade de segunda ordem, estrutura espacial, medida Z e é estimada pela Equação (3), chamada de semivariograma de Matheron (MATHERON, 1963).

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (3)$$

em que:

$\hat{\gamma}(h)$ é a semivariância estimada;

$N(h)$ 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 Z , coletados nos pontos x_i e $x_i + h$ ($i = 1, \dots, n$), separados pelo vetor distância h .

CRESSIE e HAWKINS (1980) propuseram um estimador (Equação 4) que se propõe a ser estável quando os dados se afastam das hipóteses do modelo, para conjuntos de dados com pontos discrepantes.

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2} \frac{\left[N(h)^{-1} \sum_{N(h)} \sqrt{|Z(x_i + h) - Z(x_i)|} \right]^4}{0,457 + \frac{0,497}{N(h)}} \quad (4)$$

CRESSIE (1993) mencionou a eficiência da krigagem como um interpolador ao relatar que muitos autores pesquisaram métodos de interpolação, dentre eles o método da krigagem; entretanto, a maioria desses métodos não fornece o algoritmo dos erros associados aos resultados obtidos, o que, efetivamente, é fornecido pelo método geoestatístico da krigagem, segundo um modelo contínuo de variação espacial.

A grande diferença entre a krigagem e outros métodos de inferência é a maneira como os pesos são atribuídos às diferentes amostras. No caso da interpolação por média simples, por exemplo, os pesos são todos iguais a $1/N$ (N = número de amostras); na interpolação baseada no inverso do quadrado das distâncias, os pesos são definidos como o inverso do quadrado da distância que separa o valor interpolado dos valores observados. Na krigagem, o procedimento é semelhante ao de interpolação por média móvel ponderada, exceto que, aqui, os pesos são determinados a partir de uma análise espacial, baseada no semivariograma experimental (CAMARGO *et al.*, 2007).

2.12 Coeficiente de correlação linear de Pearson

Segundo SANTOS (2007), o coeficiente de correlação linear é uma medida que avalia o quanto a “nuvem de pontos” no diagrama de dispersão aproxima-se de uma reta. O coeficiente de correlação linear de Pearson (R) (Equação 5) é dado por:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{(n-1)S_x S_y} \quad (05)$$

em que: \bar{X} e \bar{Y} são as médias amostrais de X e Y, respectivamente,
 S_x e S_y são os desvios padrão de X e Y, respectivamente.

O coeficiente “R” expressa, numericamente, tanto a força quanto o sentido da correlação (Tabela 3). Seu valor varia entre 1 e -1, ou seja: $-1 \leq R \leq 1$. Se $R = 1$, as duas variáveis relacionadas têm correlação perfeitamente positivas; se $R = -1$, as duas variáveis relacionadas têm correlação perfeitamente negativa; se $R = 0$, não existe correlação entre as duas variáveis correlacionadas. Quanto mais próximo de 1 (+ ou -) maior é a força de correlação.

Tabela 3 Níveis de correlação

-1	-0,95	-0,50	-0,10	0	0,10	0,50	0,95	1
neg	neg	neg	neg	ausência	pos	pos	pos	pos
perfeita	forte	moderada	fraca		fraca	moderada	forte	perfeita

Fonte: Adaptado de BEIGUELMAN (1996)

2.13 Coeficiente de correlação de postos de Spearman

Nos casos em que os dados não formam uma nuvem comportada, com alguns pontos bem distantes dos demais, ou em que parece existir uma relação crescente ou decrescente num formato de curva, o coeficiente de correlação por postos de Spearman (Equação 6) é o mais apropriado. Ele também pode ser usado quando os dados não pertencem a uma escala de medida padrão, mas existe uma ordenação clara, por exemplo, escores numa escala de 1 a 20.

Este é um método não-paramétrico que usa somente os postos, e não faz quaisquer suposições (SHIMAKURA, 2007).

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n(n^2 - 1)} \quad (6)$$

Em que:

d_i : a diferença entre cada posto de valor correspondente de X e Y, e
 n : o número dos pares dos valores.

CAMPOS (1983) definiu o teste não-paramétrico como aquele que não especifica condições sobre os parâmetros da população da qual a amostra foi obtida. O autor ressaltou que quando existem pressuposições, essas são mais brandas do que aquelas associadas com os testes paramétricos e, com isso, o emprego da estatística não-paramétrica constitui valiosa alternativa de trabalho dada à sua simplicidade e versatilidade.

2.14 A fruticultura

A fruticultura tornou-se um dos mais atrativos investimentos do campo brasileiro nas duas últimas décadas. Isto devido às condições de clima favoráveis, o que permite produzir praticamente todos os tipos de frutas, e muitas delas durante todo o ano. Há muito ainda a ser explorado, principalmente visando ao mercado externo. Assim, o fruticultor brasileiro prepara-se para produzir com qualidade, ultrapassar as barreiras e conquistar novas fronteiras no mercado mundial de frutas.

A fruticultura consegue gerar renda e emprego com uma competitividade bem acima da média das demais culturas do agronegócio nacional. No Brasil, ela está em expansão e os agricultores têm demandado muita informação sobre manejo, controle de doenças, produção de mudas e outras. Esta alternativa constitui-se uma opção para diversas regiões em virtude do grande consumo de frutas naturais, como também o grande parque industrial nas diversas regiões do País (GEOCITIES, 2006).

2.14.1 Produção brasileira de frutas

A produção mundial de frutas foi de 690.756.513 toneladas em 2005. A fruta mais produzida foi a banana, com um total de 105,69 milhões de toneladas, seguida pela melancia, com 99,39 milhões de toneladas e pela uva, com 66,24 milhões de toneladas. A laranja, maçã e coco ocuparam a quarta, quinta e sexta colocações, respectivamente.

A China foi o maior produtor mundial de frutas em 2005, apresentando uma produção de 167 milhões de toneladas. A Índia ocupou a segunda colocação na produção de frutas no mesmo ano, com 57,9 milhões de toneladas. O Brasil ocupou a terceira colocação na classificação dos principais países produtores de frutas no ano de 2005, com 41,2 milhões de toneladas, representadas principalmente pelas culturas da laranja, banana, coco, abacaxi, mamão, castanha de caju, caju e castanha do Brasil. Depois, os Estados Unidos, Indonésia, Filipinas, Itália, México, Turquia e Irã, nesta ordem, estão entre os dez maiores produtores de frutas do mundo e, juntos, representaram 22,90 % da produção mundial de frutas no ano de 2005 (FAO, 2006, citado por OLIVEIRA JUNIOR & MANICA, 2006).

Haja vista a fruticultura de qualidade ser uma atividade de importância na balança comercial brasileira; e tendo em vista as dificuldades que os produtores vêm enfrentando com os baixos preços alcançados pela venda do produto e dificuldades associadas às barreiras fitossanitárias impostas aos produtos nacionais no exterior, a retomada de crescimento só será possível com técnicas que contribuam para a comercialização do produto dentro dos padrões já adotados e reconhecidos nesses mercados.

Nesse sentido, todas as ações que contribuem para incrementar a qualidade e reduzir os custos de produção são fortes aliadas dos produtores nacionais. Estão incluídos o uso otimizado de insumos e fertilizantes, a adoção de medidas que aumentem a eficiência e eficácia de aplicação de agrotóxicos e de medidas preventivas ao aparecimento de pragas e doenças antes que os níveis econômicos de danos sejam detectados (EMBRAPA, 2001).

2.15 A pêra (*Pyrus communis*)

Frutífera da família *Rosaceae*, exigente em tratos culturais, típica de clima temperado, de origem euro-asiática, com referências à Europa Central, China e Indonésia.

A pêra depende de bastante frio no inverno para produzir a contento. No Brasil, o cultivo é feito com sucesso na região Sul e em escala modesta, em áreas com altitude acima de 600m de no Espírito Santo, Rio de Janeiro e Minas Gerais. O plantio deve ser feito com base em mudas enxertadas dos melhores cultivadores disponíveis. Os frutos podem ser consumidos tanto *in natura* como industrializados, em compotas, sucos e adicionados em iogurtes. A colheita é realizada no período de dezembro a abril. As safras consideradas comerciais são obtidas a partir do quinto ano de instalação do pomar. Colhem-se os frutos “de vez”, indicados pela coloração. A colheita é manual, em cestas ou caixas (RURALNET, 2006).

As cultivares mais conhecidas são:

- Híbridos - IAC: Primosa (IAC 9-3), Centenária (IAC 9-47), Seleta (IAC 16-28), Triunfo (IAC 16-34) e Tenra (IAC 15-20, polinizante);
- Pêras rústicas tradicionais: tipo D'água (branca, d'água de Valinhos e d'água de São Roque), tipo Francesa (madame Sielboldt e Grazzine) e tipo dura ou d'água de outono (Kieffer, Schmidt e Parda);
- Pêras orientais: Okussankichi, Hossui, Kossui, Atago e Yari (para regiões mais frias);
- Pêra européia: Packham's Triumph (para regiões mais frias);
- Porta-enxertos: pereiras comuns ("Kieffer" ou "Parda"); *Pyrus betulafolia* bunge; *Pyrus calleryana* Decne e marmeleiros (“Portugal” e “Provence”) (EMBRAPA, 2003).

A produção brasileira de pêra, no período de 2001 a 2005, foi de 20.230 toneladas, destacando-se o Rio Grande do Sul como o principal produtor, com 45,7 % do total. O restante dividiu-se entre os Estados de São Paulo (22,8 %), Paraná (10,9 %), Santa Catarina (10,0 %), Minas Gerais (9,4%) e Rio de Janeiro (1,2 %). A produção brasileira de pêra é pequena quando comparada à potencialidade do país e das várias tentativas realizadas, portanto, é preciso incentivar o aumento da produção e o maior

desenvolvimento da cultura. A pêra é a fruta fresca, importada em maior quantidade pelo Brasil. De 2001 a 2005, foram importadas, em média, 90.296,7 toneladas e gastos US\$ 41.235,4 mil. Esses valores significaram, respectivamente, 38,38 % da quantidade total de frutas importadas e 26,16 % do valor pago. No Brasil, são produzidas apenas 20 mil toneladas ano⁻¹, enquanto o consumo é da ordem de 110 mil toneladas (FIORAVANÇO, 2007).

2.16 Produção integrada de frutas (PIF)

O mercado mundial consumidor de frutas estabelece requisitos sanitários rigorosos e exige garantias de qualidade e inocuidade, o que requer a adoção de uma visão diferenciada de produção a fim de priorizar tanto a qualidade da fruta como o meio ambiente. Uma das alternativas em consonância com as novas tendências para fruticultura é a adoção de técnicas de produção, preconizadas pelos sistemas de produção integrada e orgânica de frutas.

A produção integrada surgiu da necessidade de se racionalizar o uso de agroquímicos, sem prejuízos à produção e à produtividade das culturas. Os princípios básicos que regem a PIF são a elaboração e o desenvolvimento de normas específicas para cada cultura e caderneta de campo e de pós-colheita onde devem ser anotadas todas as práticas de manejo adotadas na produção das frutas (TIBOLA & FACHINELLO, 2004).

A Produção Integrada de Frutas (PIF) tem como objetivo a obtenção de um produto seguro (isento de resíduos prejudiciais à saúde humana) e de excelente qualidade. Nesse sistema, as frutas são produzidas em um modelo que substitui insumos poluentes, com monitoramento dos procedimentos de rastreabilidade em todo processo, desde o campo até o consumidor final, respeitando as condições humanas de trabalho e o meio ambiente. Além da redução dos custos, o sistema permite o aumento da produtividade, elevada qualidade da fruta produzida, economia do uso da água de irrigação, o aumento da infiltração de água no solo e conseqüente elevação do lençol freático. A PIF tem ainda como vantagens a diminuição dos processos erosivos e o incremento na diversidade e população de inimigos naturais de pragas e doenças (ISCA, 2005).

São fundamentais, no sistema PIF, o monitoramento e o estudo dos hábitos das pragas, já que esses melhoram a eficiência na aplicação de agrotóxicos. Devem-se, ainda, realizar aplicações localizadas somente quando a praga ou doença atingir o nível de dano econômico, além de utilizarem-se produtos específicos, com baixo efeito residual e menor impacto ambiental. No Brasil, a produção integrada está sendo adotada por todas as fruteiras com expressão comercial no mercado, envolvendo 14 espécies. A maçã foi a primeira fruta a ser manejada de acordo com o sistema PIF (TIBOLA & FACHINELLO, 2004). Contudo, a pêra ainda não foi contemplada.

Diante do exposto, o Brasil precisa fazer uso de sistemas agrícolas de exploração já adotados por países onde estão os mercados mais exigentes, tais como os da União Européia. Esses países já utilizam a técnica de Produção Integrada, a qual viabiliza os benefícios supracitados, visando, com essas medidas, reduzir os custos de produção de alimentos de alta qualidade, principalmente mediante o uso de técnicas que levem em consideração os impactos ambientais sobre o sistema solo/água/produção (EMBRAPA, 2001).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização da área experimental

A área experimental está localizada nas coordenadas geográficas 25°23'22" de latitude Sul, 52°34'15" de longitude Oeste e altitude média de 750 m, localizada no município de Nova Laranjeiras - PR (Figura 04). O solo da área é um Latossolo Vermelho distroférico (EMBRAPA, 1999) com 63 % de argila, 17 % de silte e 20 % de areia, segundo análise granulométrica realizada pela cooperativa central de desenvolvimento tecnológico e econômico, Ltda - COODETEC. A precipitação média anual é de 1900 mm e a temperatura média anual de 19 °C.

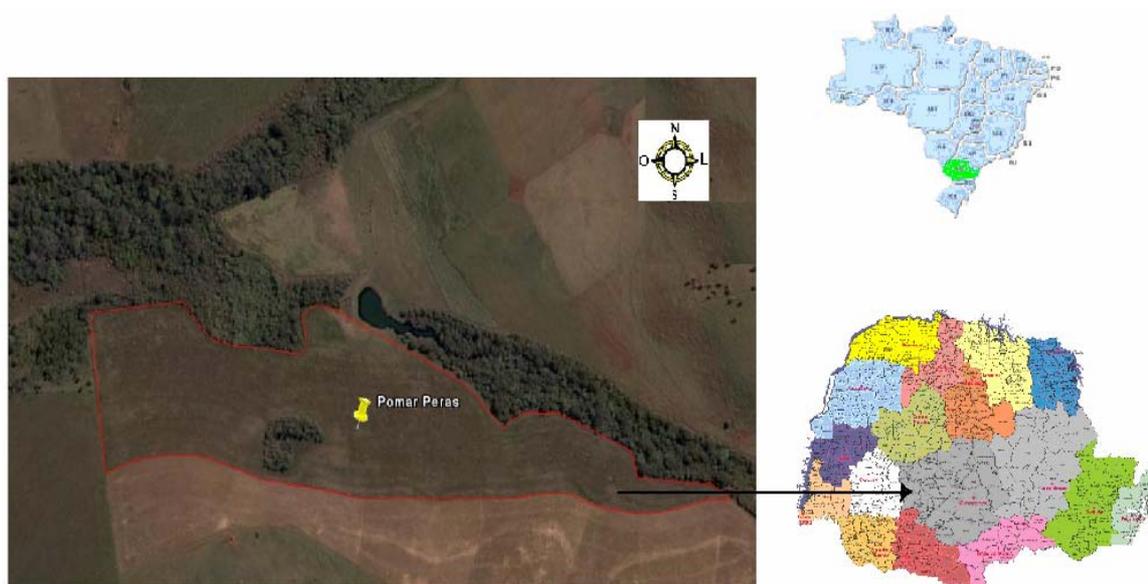


Figura 04 Imagem da área experimental obtida pelo programa computacional Google Earth 4.3 (2007)

3.2 Georreferenciamento do talhão

Para o georreferenciamento do talhão (Figura 05), utilizou-se um receptor GPS geodésico com pós-processamento, modelo *Trimble Geo Explorer 3*, datum WGS-84.

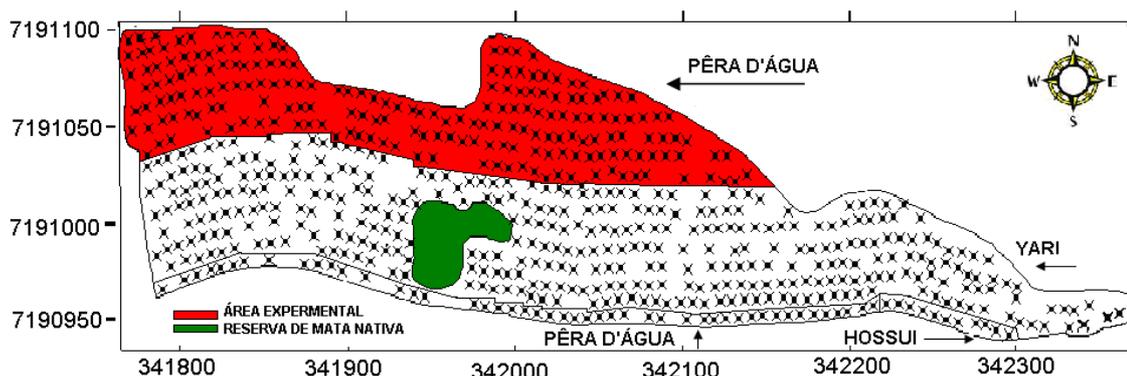


Figura 05 Talhão georreferenciado com a localização de todas as plantas e distribuição espacial em função da variedade

3.3 Cultura e adubação

O pomar foi implantado em 2000, inicialmente com 700 mudas, espaçamento de oito metros entre linhas e dez metros entre plantas. As mudas eram provenientes da região de Mafra-SC, da Fruticultura Brongiel. Ocorreu uma perda de aproximadamente 10 % das mudas que, por motivos diversos, não se estabeleceram. Atualmente, o pomar conta com 630 plantas, ocupando uma área de 5,6 hectares, anteriormente cultivada com milho, soja, aveia e sorgo, em sistema de plantio direto. Os porta-enxertos são da variedade pêra dura (Kieffer). Foram enxertadas as variedades Pêra d'água, Yari e Hossui (Figura 5).

Na implantação do pomar, as covas foram adubadas com fósforo e Yorin (300 g por cova +10 g de ácido bórico). Todos os anos, foram realizadas adubações de cobertura com nitrogênio (140g de uréia planta⁻¹) e potássio (100g planta⁻¹). A primeira colheita foi feita em fevereiro de 2006. A superação da dormência foi induzida com produtos químicos, tendo em vista que a região não é considerada climaticamente ideal para o cultivo de pêra, esperando-se assim, aumento na produtividade.

3.4 Análise dos atributos do solo

A amostragem foi realizada em malha, com espaçamento regular de 30m, utilizando-se GPS, sendo amostrada toda a área de 5,6 ha (Figura 06). A localização do ponto de amostragem seguiu o procedimento denominado de amostragem sistemática estratificada, sendo que dos 70 pontos determinados, apenas 65 serviram como referência para as amostras de solo.

Três pontos estavam localizados na área de mata nativa (26, 27, 29), um ponto situava-se em falha de plantio (57) e outro ponto (66) estava na faixa de manobra de maquinário. As amostras foram extraídas de uma profundidade de 0-20 cm e a coleta do material, para a análise do solo, foi realizada no dia 15/12/2006. Os atributos químicos avaliados foram: P, K, Cu, Zn, Fe, Mn (Mehlich-1), Ca, Mg, Al^{3+} (KCl), $H+Al^{3+}$ (tampão SMP), pH (cloreto de cálcio), C (Walkey Black) e a saturação por bases (V %).

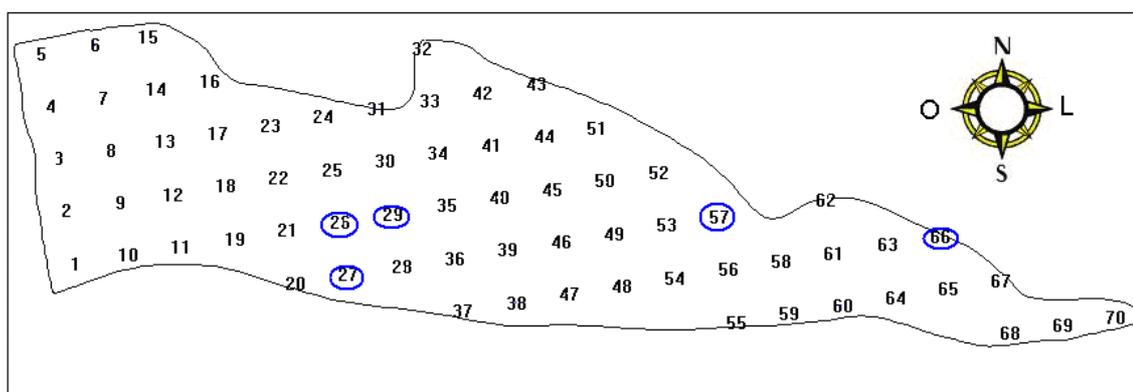


Figura 06 Localização dos pontos de amostragem de solo

Neste trabalho, foram analisados os dados de produção da colheita do ano de 2007, obtidos em uma área de 1,24 ha, cultivada com 146 pereiras da variedade Pêra d'água (Figura 7).

A escolha foi embasada no fato desta variedade já estar produzindo frutos em escala comercial, enquanto as outras variedades ainda não estavam em plena frutificação. Foram realizadas quatro colheitas (28/01, 03/02, 14/02 e 01/03) em função da maturação dos frutos e, em cada uma delas, foram colhidos apenas os frutos maduros. Foram caracterizados: a massa, o diâmetro e o comprimento de dez frutos por planta, e a produtividade total foi obtida pela soma das colheitas individuais de cada uma. Na medição da produtividade, foram selecionados 36 pontos, sendo 18 coincidentes com os pontos de análise do solo e 18 pontos coincidentes com a primeira planta à direita (sentido leste-oeste).

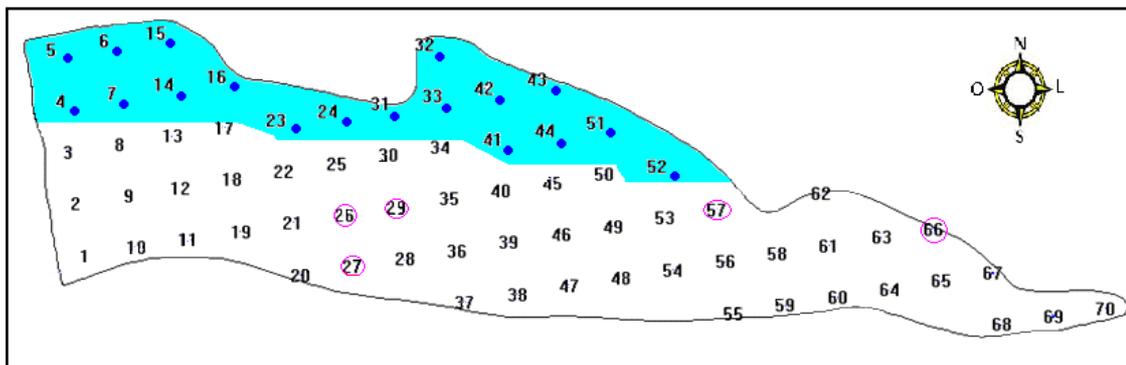


Figura 07 - Localização dos pontos de amostragem do solo da sub-área (em azul)

3.5 Análise estatística

Na análise exploratória dos dados, foram calculadas as medidas de posição (média, mediana e moda), medidas de dispersão (variância, desvio-padrão e amplitude interquartis) e medidas de forma da distribuição (coeficiente de variação, coeficiente de assimetria e coeficiente de curtose), visando identificar e avaliar se os dados possuíam homogeneidade e normalidade.

A normalidade dos dados foi verificada pelos testes de Anderson-Darling e Kolmogorov-Smirnov, ao nível de 5 % de significância. Foram considerados com distribuição de probabilidade normal os dados que apresentaram normalidade em, pelo menos, um dos testes. Os pontos discrepantes foram verificados por meio dos gráficos de boxplot.

Para auxiliar a comparação da distribuição dos valores apresentados por cada nutriente, foi proposto o índice de suficiência nutricional (Equação 7) ISN (%):

$$ISN = \frac{OBS}{LIM_{INF}} * 100 \quad (7)$$

em que:

OBS: teor observado do nutriente;

LIM_{INF}: limite inferior da faixa referente ao nível “alto” do mesmo nutriente.

O coeficiente de variação (CV) foi considerado baixo quando $CV \leq 10\%$ (homocedasticidade); médio quando $10\% < CV \leq 20\%$; alto quando $20\% <$

CV \leq 30 %; e muito alto quando CV $>$ 30 % (heterocedasticidade) (GOMES, 1987). Para avaliar o grau de correlação entre as variáveis, foram utilizados o coeficiente de correlação linear de Pearson (R) e o coeficiente de correlação não-paramétrica de postos de Spearman (R_s).

Já na análise geoestatística, utilizando-se o *software* GEOCAC (SILVA *et al.*, 2003), foi analisada a estrutura da variabilidade espacial dos dados. Para esta identificação da dependência espacial entre as amostras, foram utilizados o estimador clássico de MATHERON (1963), para dados com distribuição normal, e o estimador de CRESSIE & HAWKINS (1980), para dados com distribuição não normal.

A modelagem consistiu em ajustar um modelo teórico (esférico, exponencial, gaussiano ou circular) ao semivariograma experimental. Para a escolha dos modelos e dos parâmetros mais adequados para cada caso, foi utilizado como critério o método de ajuste de mínimos quadrados ordinários (OLS; CRESSIE, 1985), adotando-se o modelo isotrópico (semivariograma omnidirecional) com um ponto de corte (*cutoff*) de 50 % da distância máxima (CLARK, 1979).

Obtido o modelo mais adequado, foram encontradas as estimativas dos parâmetros efeito pepita (C_0), alcance (a) e patamar ($C_0 + C_1$) pelo método de Mínimos Quadrados Ordinários que, posteriormente, foram utilizadas para estimar os valores em posições não amostradas no campo, pela técnica de krigagem ordinária (CRESSIE, 1993).

O grau de dependência espacial dos semivariogramas foi avaliado pelo índice de dependência espacial (IDE, Equação 2) e a partir do índice de variabilidade espacial IVE (Equação 8), proposto neste trabalho.

$$IVE = 100 - IDE \quad (8)$$

Para a classificação do IVE, foram adotadas cinco divisões equidistantes nos decis D2, D4, D6 e D8 de sua distribuição estatística: IVE muito baixo para IVE $<$ 20 %; baixo $20 \leq$ IVE $<$ 40 %; médio para $40 \leq$ IVE $<$ 60%; alto para $60 \leq$ IVE $<$ 80 % e muito alto para IVE $>$ 80 %.

Para a elaboração dos mapas com a espacialização dos atributos químicos estudados e a produtividade das pereiras, utilizou-se o programa

Surfer 8.0, disponibilizado pela *Golden Software*, com base nos valores estimados pelo interpolador geoestatístico denominado de krigagem. Dessa forma, foram estimados os valores para toda posição não amostrada na área de estudo. A partir dos valores obtidos pela krigagem, elaboraram-se mapas de isolinhas ou de contornos para exame e interpretação da variabilidade dos atributos em questão.

Um modelo de regressão múltipla da produtividade foi ajustado em função dos atributos químicos do solo e da planta. O método de seleção de variáveis utilizado foi o de melhor subconjunto (*best subset*) usando o programa Statistica. Um valor de 0,05 de significância para a distribuição F foi utilizado para controlar a entrada e saída dos efeitos. O coeficiente de determinação múltiplo ajustado (R^2 ajustado) foi utilizado como critério de seleção dos melhores modelos para os efeitos especificados. Após uma análise exploratória, decidiu-se pelos ajustes dos dados ao seguinte modelo (Equação 9):

$$Pro = a + b.P^2 + c.K + d.K^2 + e.pH + f.Cu^2 + g.Fe + h.Mn + i.Sat^2 + j.Com^2 + k.Diam + \varepsilon \quad (9)$$

Em que:

Pro : variável resposta: Produtividade (kg ha^{-1});

P, K, pH, Cu, Fe, Mn e Sat: atributos do solo;

Com: comprimento do fruto (mm);

Diam: diâmetro do fruto (mm);

a, b ...k: parâmetros do modelo a serem estimados pelo método de mínimos quadrados ordinários;

ε : erro aleatório.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise estatística descritiva

Os atributos pH, comprimento e diâmetro dos frutos (Tabela 04) apresentaram variabilidades consideradas baixas, no entanto, para o Mg e o C as variabilidades foram médias; para o Ca e o Cu, elas foram altas e para P, K, Zn, Fe, Mn e a produtividade, foram consideradas muito altas, segundo GOMES (1987).

O pH apresentou o menor coeficiente de variação (CV= 5,75 %), enquanto a produtividade da cultura da pereira apresentou o maior (77,62 %). BALASTREIRE (2001), em um estudo do mapeamento da produtividade da cultura do café, também encontrou alto CV para a produtividade. A maior parte dos atributos apresentou distribuição de probabilidade normal (P, K, Ca, Mg, pH, C, comprimento e diâmetro) e os restantes (Cu, Zn, Fe, Mn, V % e produtividade) não apresentaram normalidade.

Tabela 04 Análise descritiva dos atributos do solo e da planta

	Nº de amostras	Mínimo	Média	Mediana	Máximo	Desvio Padrão	CV	Normalidade
Teor de P (mg dm ⁻³)	18	2,80	4,86	4,60	9,00	1,59	32,80	sim
Teor de K (cmolc dm ⁻³)	18	0,19	0,46	0,41	0,99	0,21	45,54	sim
Teor de Ca (cmolc dm ⁻³)	18	3,52	6,41	6,28	9,14	1,60	24,88	sim
Teor de Mg (cmolc dm ⁻³)	18	1,67	2,55	2,65	3,26	0,46	18,01	sim
pH	18	4,60	5,10	5,05	5,50	0,29	5,75	sim
Teor de C (g dm ⁻³)	18	20,44	28,16	28,74	33,56	3,16	11,21	sim
Teor de Cu (mg dm ⁻³)	18	7,00	9,38	9,05	14,10	2,10	22,43	não
Teor de Zn (mg dm ⁻³)	18	2,00	4,42	3,85	9,70	1,97	44,50	não
Teor de Fe (mg dm ⁻³)	18	34,00	55,33	48,00	150,00	28,61	51,71	não
Teor de Mn (mg dm ⁻³)	18	70,00	164,78	155,00	350,00	73,71	44,74	não
Sat. por bases (%)	18	45,50	66,29	71,35	80,50	10,68	16,11	não
Comprimento (mm)	36	66,83	82,22	81,90	94,85	5,79	7,04	sim
Diâmetro (mm)	36	58,82	69,39	68,42	90,79	5,14	7,40	sim
Produtividade (kg ha ⁻¹)	36	56,89	693,39	493,52	2337,35	538,22	77,62	não

Na Figura 08 estão apresentados os gráficos boxplot dos atributos do solo com alguns pontos *outliers* para as variáveis: K (1 ponto), Cu (1 ponto), Zn (1 ponto), Fe (2 pontos) e diâmetro (1 ponto). Após verificar-se que não houve erros de digitação ou na análise química, optou-se por mantê-los nas análises estatísticas subsequentes.

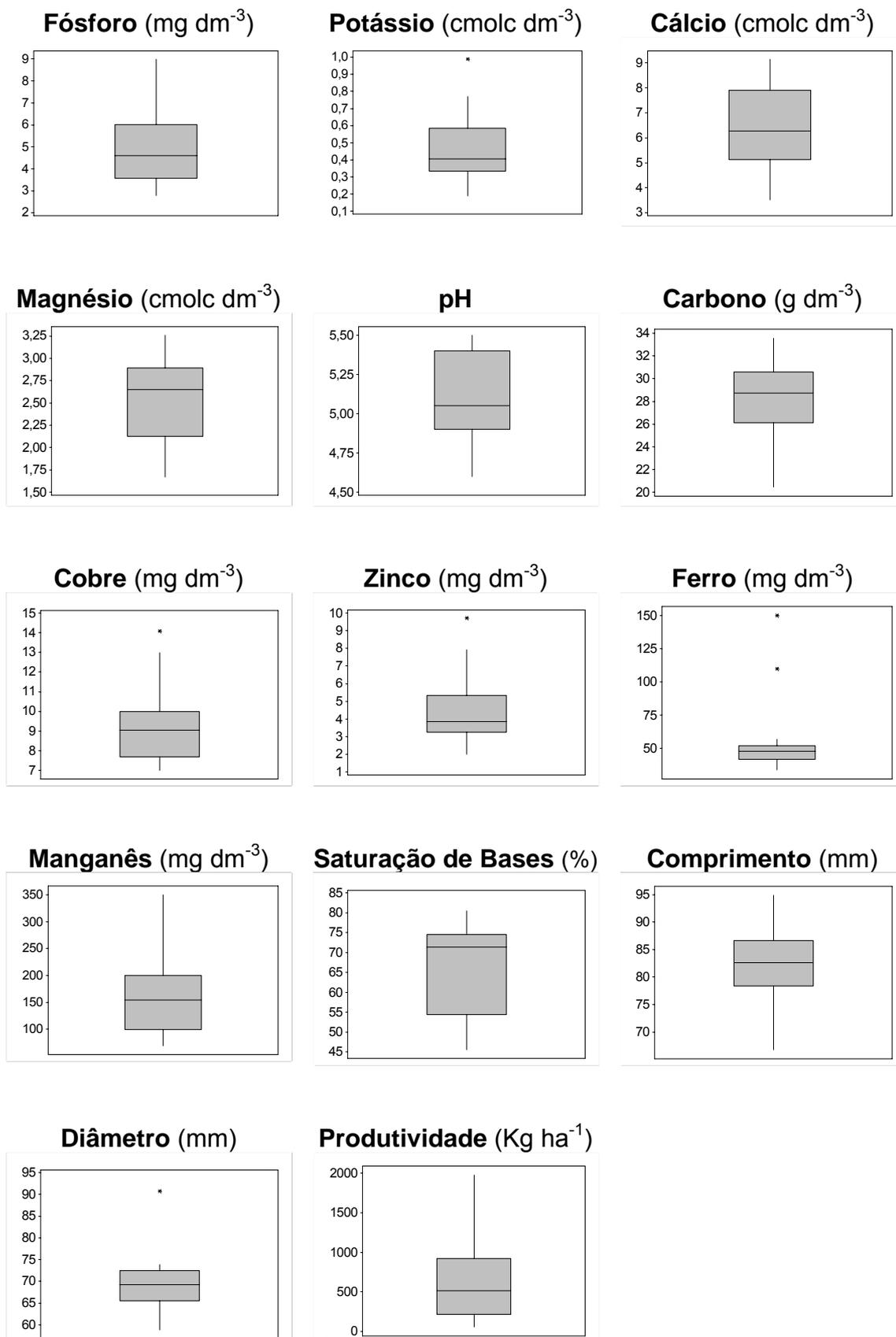


Figura 08 Boxplot das variáveis analisadas

Foi verificado que a distribuição das variáveis não apresentou tendências direcionais que comprometessem a geração dos semivariogramas (Anexo A).

Comparando-se os valores encontrados para os atributos do solo com os níveis de interpretação (Tabela 05) sugeridos por COSTA & OLIVEIRA (2001), encontraram-se valores classificados como: baixo para P, Zn e V %; médio para P, K, Ca, Zn, Fe, V %; alto para todos e muito alto para K. Tem-se, portanto, que na maior parte da área, os níveis são adequados ao desenvolvimento de plantas e à disponibilidade de nutrientes.

Tabela 05 Níveis de interpretação dos atributos químicos do solo com a porcentagem encontrada em cada faixa

Atributo	Muito baixo	baixo	médio	alto	muito alto
P (mg dm ⁻³)*		≤ 3,0	3,1 - 6,0	6,1 - 9,0	>9,0
P encontrado %		11,1%	66,7%	22,2%	
K (cmolc dm ⁻³)*		≤ 0,10	0,11 - 0,20	0,21 - 0,30	>0,30
K encontrado %			11,1%	11,1%	77,8%
Ca (cmolc dm ⁻³)*		≤ 2,0	2,1 - 4,0	>4,0	
Ca encontrado %			5,6%	94,4%	
Mg (cmolc dm ⁻³)*	<0,40	0,40 - 0,60	0,61 - 0,80	>0,80	
Mg encontrado %				100%	
C (g dm ⁻³)*	<9,0	9,0 - 14,0	15,0 - 20,0	21,0-35,0	>35,0
C encontrado %				100%	
Cu (mg dm ⁻³)*		< 0,8	0,8 - 1,7	> 1,7	
Cu encontrado %				100%	
Zn (mg dm ⁻³)*		< 3,0	3,0 - 7,0	>7,0	
Zn encontrado %		16,7%	72,2%	11,1%	
Fe (mg dm ⁻³)*		< 15,0	15,0 - 40,0	> 40	
Fe encontrado %			16,7%	83,3%	
Mn (mg dm ⁻³)*		< 15,0	15,0 - 30,0	>30,0	
Mn encontrado %				100%	
Saturação de Bases (V%)	≤ 25	26 - 50	51 - 70	71 - 90	> 90
V% encontrado %		5,6%	38,9%	55,5%	

*Fonte: COSTA & OLIVEIRA (2001).

De acordo com a Tabela 05, os valores considerados como “muito baixos” para cada nutriente são menores que 50 % do valor limitante inferior da faixa referente ao nível “alto”. Da mesma maneira, os valores considerados como “muito altos”, quando existem, são aqueles maiores que 50% do valor limitante inferior da faixa referente ao nível “alto”.

Para auxiliar na comparação da distribuição dos valores encontrados pelos nutrientes, na Figura 09, estão apresentados os gráficos boxplot dos

índices de suficiência nutricional (ISN), em que 100% representam o limite inferior da faixa referente ao nível “alto” de cada atributo, aqui considerado como nível ótimo. Os atributos foram ordenados, da esquerda para a direita, de acordo com sua crescente suficiência nutricional média (Figura 09). Especial atenção deve-se dar aos atributos Zn, P, V % e Fe porque, pelo menos em parte das amostras, mostraram-se abaixo do nível ótimo. Atenção também deve ser dada ao excesso de macro e micronutrientes devido à possível ação tóxica e de interferência em outros nutrientes. Um exemplo clássico é a interação negativa entre fósforo e zinco (PERES, 2002; LOPES, 1998) e a ação tóxica do excesso de alguns micronutrientes (VALLADARES *et al.*, 2007). Neste caso, incluem-se o K, Mg, Mn e Cu.

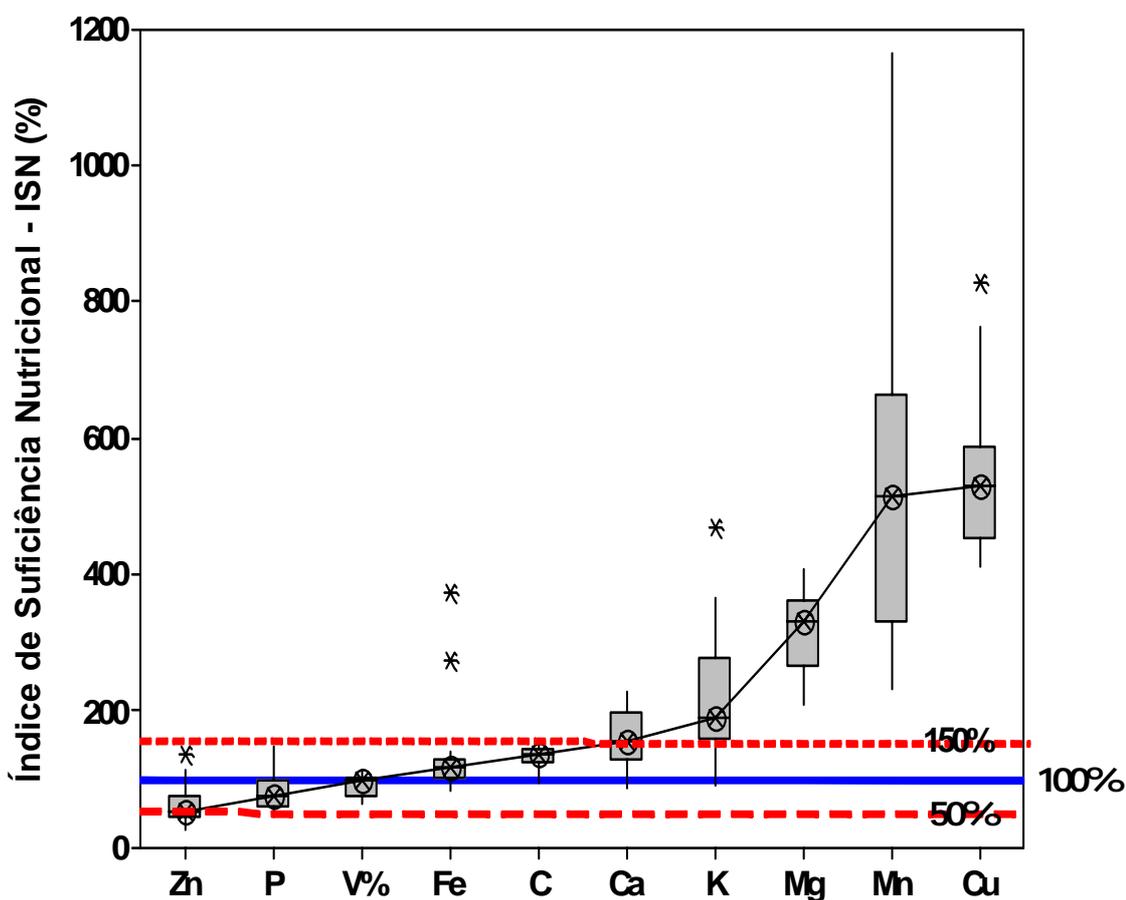


Figura 09 Boxplot dos índices de suficiência nutricional (ISN) para os atributos do solo Zn, P, V %, Fe, C, Ca, K, Mg, Mn e Cu.

4.2 Análise geoestatística

Para cada atributo estudado, ajustou-se o modelo do semivariograma (Tabela 06), sendo adotado aquele que apresentou melhores parâmetros no estudo de erros, conforme VIEIRA *et al.* (1983).

Tabela 06 Modelos e parâmetros dos semivariogramas para variáveis analisadas

Variável	Modelo	Efeito Pepita	Contribuição	Patamar	Alcance	Índice de dependência espacial	Índice de variabilidade espacial
		(Co)	(C1)	(Co + C1)	a (m)	IDE	IVE
Teor de P (mg dm ⁻³)	Expo ¹	1,64	0,93	2,57	250,4	63,8%	36,2%
Teor de K (cmolc dm ⁻³)	Esf ¹	0,03	0,05	0,08	186,5	37,5%	62,5%
Teor de Ca (cmolc dm ⁻³)	Gaus ¹	1,15	1,80	2,95	196,4	39,0%	61,0%
Teor de Mg (cmolc dm ⁻³)	Gaus ¹	0,13	0,09	0,22	206,2	59,1%	40,9%
pH	Esf ¹	0,04	0,04	0,08	176,7	50,0%	50,0%
Teor de C (g dm ⁻³)	Esf ¹	1,12	6,72	7,84	122,7	14,3%	85,7%
Teor de Cu (mg dm ⁻³)	Gaus ²	2,18	2,32	4,50	103,0	48,4%	51,6%
Teor de Zn (mg dm ⁻³)	Esf ²	0,96	1,09	2,05	216,0	46,8%	53,2%
Teor de Fe (mg dm ⁻³)	Gaus ²	92,55	124,21	216,76	127,6	42,7%	57,3%
Teor de Mn (mg dm ⁻³)	Gaus ²	1464,7	7689,7	9154,4	216,0	16,0%	84,0%
Saturação de Bases (%)	Gaus ²	29,7	55,17	84,87	240,5	35,0%	65,0%
Comprimento (cm)	Esf ¹	24,54	4,49	29,03	13,4	84,5%	15,5%
Diâmetro (cm)	Esf ¹	15,98	10,54	26,52	91,1	60,3%	39,7%
Produtividade (kg ha ⁻¹)	Gaus ²	42437	142000	184437	168,8	23,0%	77,0%

(1) estimador clássico de Matheron; (2) estimador de Cressie e Hawkins.
Expo = exponencial; Esf = esférico; Gaus = gaussiano

O alcance é uma medida importante para o planejamento e a avaliação experimental, já que pode auxiliar na definição de novos procedimentos de amostragem (BOLFE, GOMES & FONTES, 2007). Esse parâmetro representa a distância em que os pontos amostrais estão correlacionados entre si. Nos atributos dos solos estudados, verificaram-se diferenças significativas nos alcances de dependência espacial. Na camada superficial (0-20 cm), o teor de P apresentou o maior alcance, ou seja, 250,4 m, enquanto os teores de Cu e Fe apresentaram os menores alcances, 103,0 e 127,6 m, respectivamente.

Os modelos ajustados para os semivariogramas experimentais (Figura 10) foram: o esférico (K, pH, C, Zn, comprimento e diâmetro dos frutos); o exponencial (P); e o gaussiano (Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, saturação de bases e produtividade).

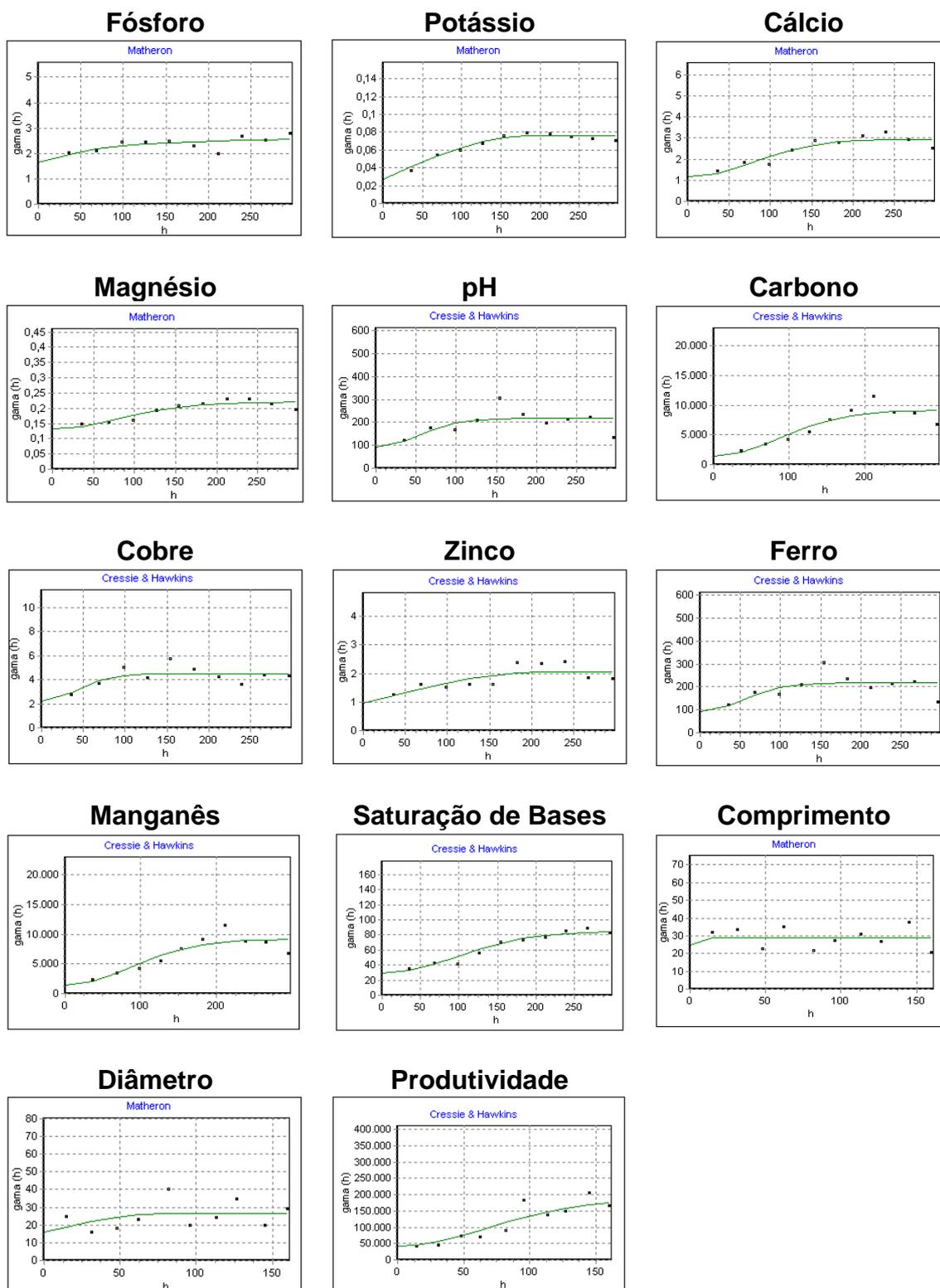


Figura 10 Semivariogramas das variáveis: fósforo (mg dm^{-3}), potássio (mg dm^{-3}), cálcio (cmolc dm^{-3}), magnésio (cmolc dm^{-3}), pH, carbono (g dm^{-3}), cobre (mg dm^{-3}), zinco (mg dm^{-3}), ferro (mg dm^{-3}), manganês (mg dm^{-3}), saturação de bases (V %), comprimento do fruto (cm), diâmetro do fruto (cm) e produtividade (kg ha^{-1}).

Em média, a variabilidade espacial, caracterizada pelo índice de variabilidade espacial (IVE), aumentou com o alcance (a, m) (Figura 11) e com coeficiente de variação (CV) (Figura 12), fato que deve ser investigado com mais cuidado nos próximos anos para, então, termos conclusões definitivas.

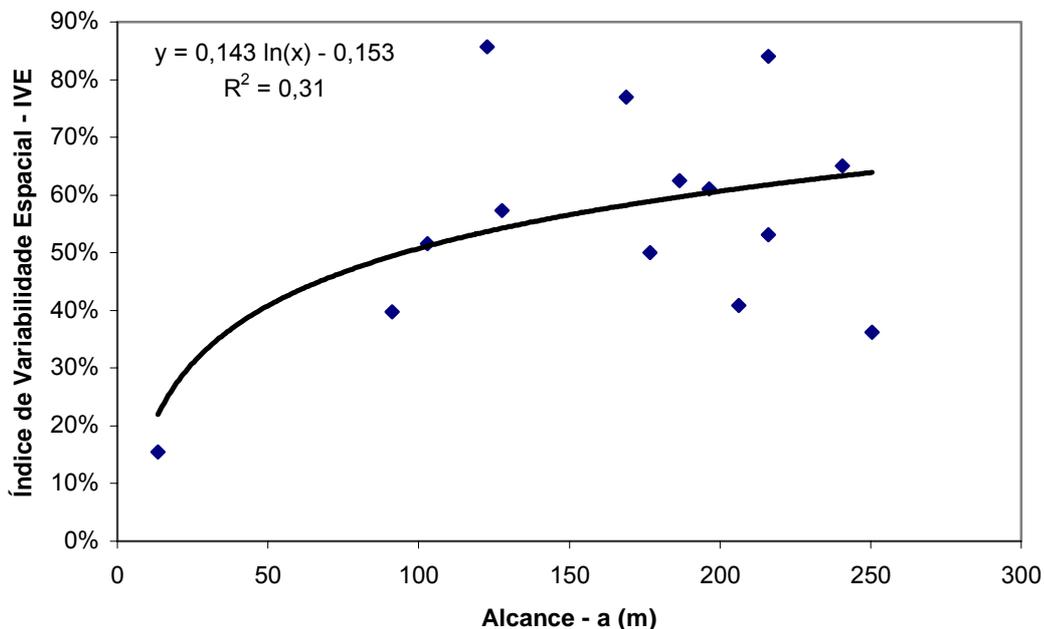


Figura 11 Índice de variabilidade espacial (IVE, %) como função do alcance (a, m)

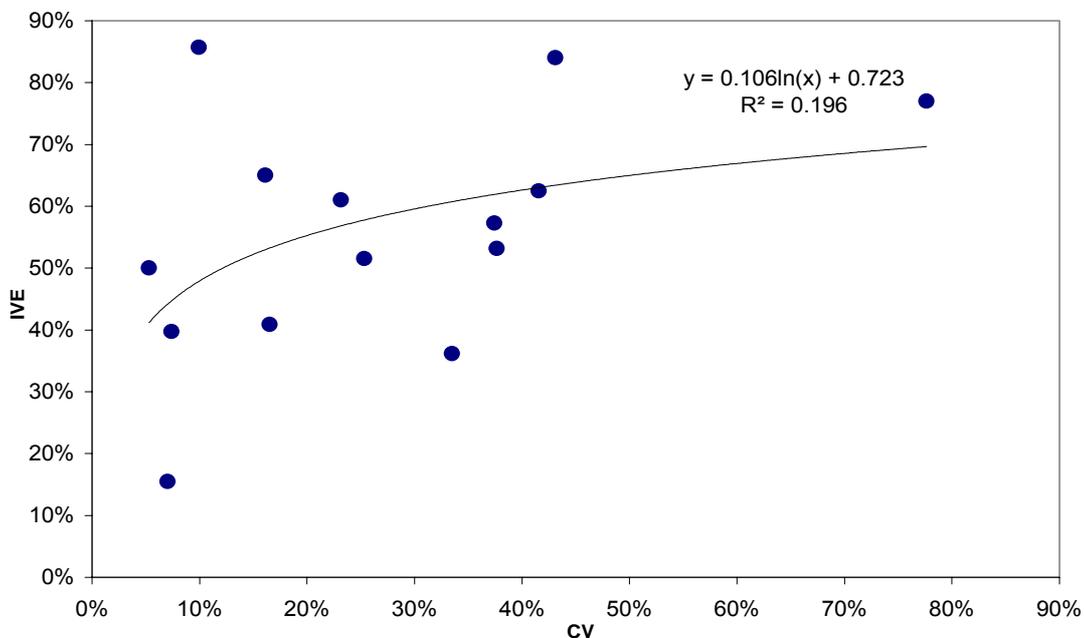


Figura 12 Índice de variabilidade espacial (IVE, %) como função do coeficiente de variação (%).

Conforme CAMBARDELLA *et al.* (1994), os atributos que apresentaram forte dependência espacial são mais influenciados por propriedades intrínsecas do solo, como textura e mineralogia. Por outro lado, os que apresentaram fraca dependência são mais influenciados por fatores externos, tais como: aplicações de fertilizante e preparo do solo, ou seja, pelo manejo do solo.

Os dados apresentaram nível de dependência espacial (Figura 13) muito baixo (comprimento do fruto), baixo (P, diâmetro do fruto), médio (Mg, pH, Cu, Zn, Fe), alto (Ca, K, saturação de bases e produtividade), e muito alto (Mn e C), segundo o índice de variabilidade espacial (IVE).

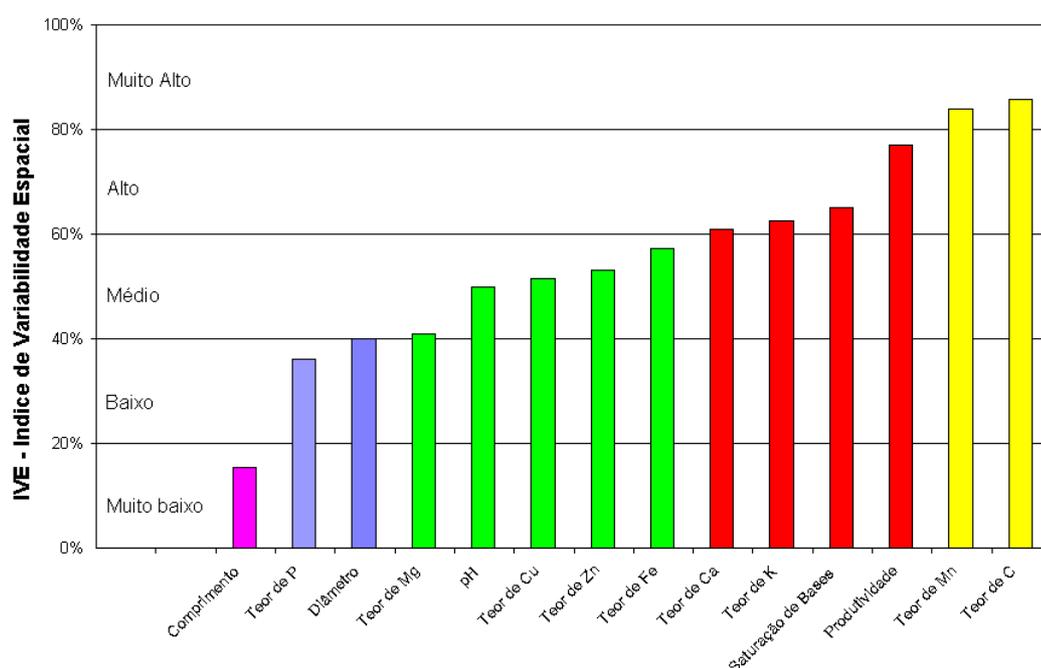


Figura 13 Índice de variabilidade espacial (IVE, %) de cada um dos atributos estudados (a, m)

4.3 Análise de correlação

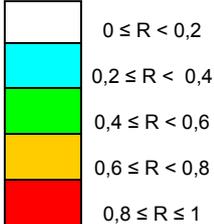
A produtividade das pereiras foi linearmente pouco correlacionada com P e K (Tabela 07), isto é, menos que 12 % ($R^2=0,12$; $R=0,35$) da variabilidade da produtividade foi explicada por esses atributos, sendo ainda menos correlacionada com os atributos restantes do solo. Esta baixa correlação, provavelmente, deve-se ao fato de todos os atributos de solo estarem, pelo menos, em um nível médio de fertilidade, com exceção do P, que apresentou baixos teores em 17 % da área. Com relação aos atributos do fruto, o diâmetro explicou 27 % da variabilidade da produtividade ($R^2=0,27$; $R=0,52$).

Entre si, os atributos mais correlacionados foram: Ca e Mg ($R= 0,86$); Ca e o pH ($R= 0,86$); Mg e pH ($R= 0,89$); saturação por bases e Ca ($R= 0,88$); saturação de bases e pH ($R= 0,89$).

A adição de calcário calcítico (CaCO_2) e calcário dolomítico ($\text{CaCO}_2 + \text{MgCO}_2$) alcaliniza o solo de forma direta, assim como a utilização de fertilizantes à base de nitratos [$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$] (RAIJ, 1991), o que vem reforçar a alta correlação entre os atributos Ca e Mg, Ca e pH e Mg e pH. Uma vez que a saturação por bases expressa uma parte da CTC ocupada por cálcio, magnésio e potássio, seria de se esperar uma relação de seus valores com o pH de acordo com RAIJ (1991); isto pode também ser observado na Figura 02, para valores médios encontrados na área de $\text{pH} = 5,10$ e $V\% = 66,3$.

Tabela 07 Coeficientes de correlação linear de Pearson (R) para atributos químicos do solo, produtividade, comprimento e diâmetro de frutos da pereira

	P	K	Ca	Mg	pH	C	Cu	Zn	Fe	Mn	V%	Comp	Diam	Prod
Teor de P (mg dm^{-3})	1,00													
Teor de K (cmolc dm^{-3})	0,27	1,00												
Teor de Ca (cmolc dm^{-3})	0,35	0,62	1,00											
Teor de Mg (cmolc dm^{-3})	0,18	0,65	0,86	1,00										
pH	0,26	0,72	0,86	0,89	1,00									
Teor de C (g dm^{-3})	-0,16	-0,02	-0,10	0,07	-0,23	1,00								
Teor de Cu (mg dm^{-3})	0,07	0,04	-0,04	-0,26	-0,14	-0,26	1,00							
Teor de Zn (mg dm^{-3})	-0,08	-0,07	0,28	0,21	0,37	-0,24	0,03	1,00						
Teor de Fe (mg dm^{-3})	0,07	0,05	-0,03	-0,02	0,00	-0,51	-0,02	-0,28	1,00					
Teor de Mn (mg dm^{-3})	0,35	0,46	0,66	0,49	0,62	-0,33	0,45	0,32	-0,09	1,00				
Saturação de bases (V%)	0,36	0,62	0,88	0,78	0,89	-0,39	-0,10	0,26	0,04	0,63	1,00			
Comprimento (mm)	0,06	0,14	0,15	0,16	0,25	-0,10	0,21	0,57	-0,17	0,46	0,12	1,00		
Diâmetro (mm)	-0,09	-0,02	-0,12	-0,11	-0,09	-0,21	-0,05	0,18	-0,25	0,12	0,13	0,16	1,00	
Produtividade (kg ha^{-1})	0,34	0,35	0,09	0,01	0,09	-0,27	-0,09	-0,16	0,14	0,28	0,21	-0,03	0,52	1,00

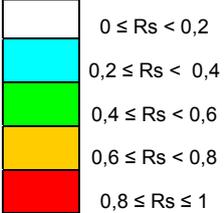


Com relação à correlação não-paramétrica por postos de Spearman (Tabela 08), os resultados foram semelhantes à correlação linear de Pearson (Tabela 07) sendo que, para a produtividade, os maiores valores de R_S foram para K ($R_S=0,40$), C ($R_S=0,49$), saturação de bases ($R_S=0,42$) e diâmetro ($R_S=0,35$). Entre si, os atributos mais correlacionados foram: Ca e Mg ($R_S=0,84$), Ca e pH ($R_S=0,86$), pH e Mg ($R_S=0,88$), saturação por bases e Ca ($R_S=0,84$) e saturação por bases e pH ($R_S=0,86$).

A baixa correlação (Pearson e Spearman) também está associada ao efeito que certos nutrientes exercem sobre outros (Tabela 1). No caso da relação entre o Zn e o Mg, existe uma inibição competitiva, ou seja, o excesso de Mg provoca a diminuição de Zn. O mesmo efeito acontece com o Zn e o Ca e também com o Fe e o Mn. Já no caso do Cu e do Ca, existe um efeito chamado antagonismo, ou seja, uma incompatibilidade entre os elementos. A presença do Ca diminui a toxidez do Cu. Adubações fosfatadas excessivas também podem ocasionar uma redução na disponibilidade de Zn (EMBRAPA, 2003), demonstrando a baixa correlação dos dois elementos.

Tabela 08 Coeficientes de correlação não-paramétrica de postos de Spearman (Rs) para atributos do solo e dados de produtividade, comprimento e diâmetro de frutos da pereira

	P	K	Ca	Mg	pH	C	Cu	Zn	Fe	Mn	V%	Comp	Diam	Prod
Teor de P (mg dm ⁻³)	1,00													
Teor de K (cmolc dm ⁻³)	0,18	1,00												
Teor de Ca (cmolc dm ⁻³)	0,29	0,63	1,00											
Teor de Mg (cmolc dm ⁻³)	0,12	0,70	0,84	1,00										
pH	0,32	0,70	0,86	0,88	1,00									
Teor de C (g dm ⁻³)	-0,30	-0,07	-0,23	-0,05	-0,35	1,00								
Teor de Cu (mg dm ⁻³)	0,30	-0,05	0,11	-0,20	0,03	-0,44	1,00							
Teor de Zn (mg dm ⁻³)	0,01	0,07	0,49	0,25	0,39	-0,21	0,18	1,00						
Teor de Fe (mg dm ⁻³)	-0,07	0,02	-0,11	0,12	-0,04	0,04	-0,05	-0,63	1,00					
Teor de Mn (mg dm ⁻³)	0,39	0,42	0,75	0,53	0,67	-0,51	0,43	0,69	-0,33	1,00				
Saturação de bases (V%)	0,39	0,65	0,84	0,74	0,86	-0,52	0,04	0,36	-0,05	0,70	1,00			
Comprimento (mm)	-0,03	0,20	0,05	0,08	0,15	-0,03	0,22	0,46	-0,25	0,46	-0,02	1,00		
Diâmetro (mm)	-0,10	0,11	-0,12	-0,09	-0,07	-0,21	-0,12	0,31	-0,35	0,22	0,04	0,41	1,00	
Produtividade (kg ha ⁻¹)	0,25	0,40	0,28	0,16	0,22	-0,49	0,09	0,07	0,09	0,30	0,42	-0,18	0,35	1,00



0 ≤ Rs < 0,2
0,2 ≤ Rs < 0,4
0,4 ≤ Rs < 0,6
0,6 ≤ Rs < 0,8
0,8 ≤ Rs ≤ 1

A constatação de uma significativa diferença entre o coeficiente de correlação linear e o coeficiente de correlação por postos reflete tanto uma relação não-linear como a presença de pares de valores extremos (LANDIM, STURARO & MONTEIRO, 2002), tendo ocorrido com os atributos pH, Mn, Ca, C, saturação por bases e comprimento do fruto (Tabela 09). Considerando-se que a segunda hipótese (pares de valores extremos) já havia sido eliminada na análise estatística descritiva, a informação da provável correlação não linear foi utilizada na seleção de variáveis a serem consideradas.

Tabelas 09 Variáveis que apresentaram aumento de correlação quando avaliadas pelo coeficiente de correlação não-paramétrica de postos de Spearman (RS) em relação ao coeficiente de correlação linear de Pearson (R)

Coeficiente	Variável	Teor de Ca	Teor de Mn	pH	Teor de C	Saturação por Bases	Comprimento
Pearson (R)	Produtividade	0,09	0,01	0,09	-0,27	0,21	-0,03
Spearman (Rs)	Produtividade	0,28	0,16	0,22	-0,49	0,42	-0,18
Aumento absoluto de correlação		0,19	0,15	0,13	0,22	0,21	0,15

4.4 Mapas temáticos

Os mapas temáticos (Figuras 14 a 26) para as variáveis analisadas, construídos por krigagem ordinária, mostram que, para cada variável, foram encontrados diferentes locais em relação aos os valores mínimos e máximos, condizentes com a baixa correlação encontrada entre as variáveis (Tabelas 07 e 08). O conhecimento dos níveis críticos dos nutrientes no solo e nos tecidos vegetais possibilita uma recomendação mais precisa da adubação. Entretanto, verificou-se que os níveis encontrados para os diversos atributos químicos são, na sua maioria, adequados ao desenvolvimento de plantas e à disponibilidade de nutrientes (Tabela 3).

Os elementos fósforo e carbono apresentaram maiores teores na região Oeste do pomar, mesmo assim, os valores variam entre médio/alto para toda a área experimental.

Para o atributo fósforo (Figura 14), 89 % dos valores encontram-se entre médio e alto e 11 % estão com valores considerados como baixos, os quais não são dados como alarmantes, uma vez que a pereira desenvolve-se relativamente bem em solos com baixa disponibilidade de P, todavia, outras culturas apresentariam problemas. Já a deficiência de fósforo poderia comprometer o desenvolvimento do sistema radicular e a parte aérea da cultura (EMBRAPA, 2003).

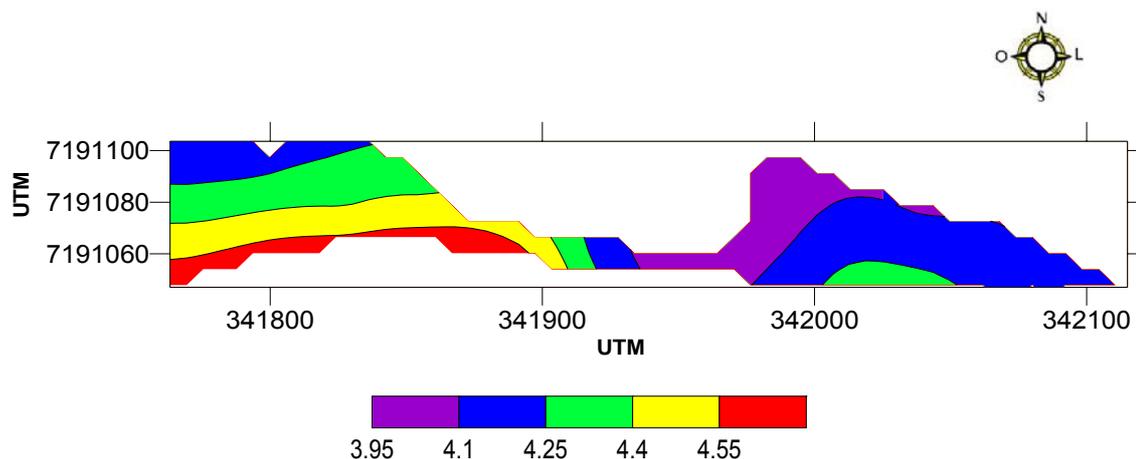


Figura 14 Espacialização do atributo químico do solo quanto ao teor de fósforo (mg dm^{-3})

Inicialmente, a área do pomar era destinada à lavoura de milho e soja (verão), aveia e sorgo (inverno), em sistema de plantio direto, ocorrendo acúmulo de matéria orgânica e, como consequência, foram encontrados elevados valores de carbono (Figura 15) em toda a área. A região também faz divisa com área de mata nativa e possui a menor declividade, fato que pode ter influenciado os maiores valores encontrados no experimento.

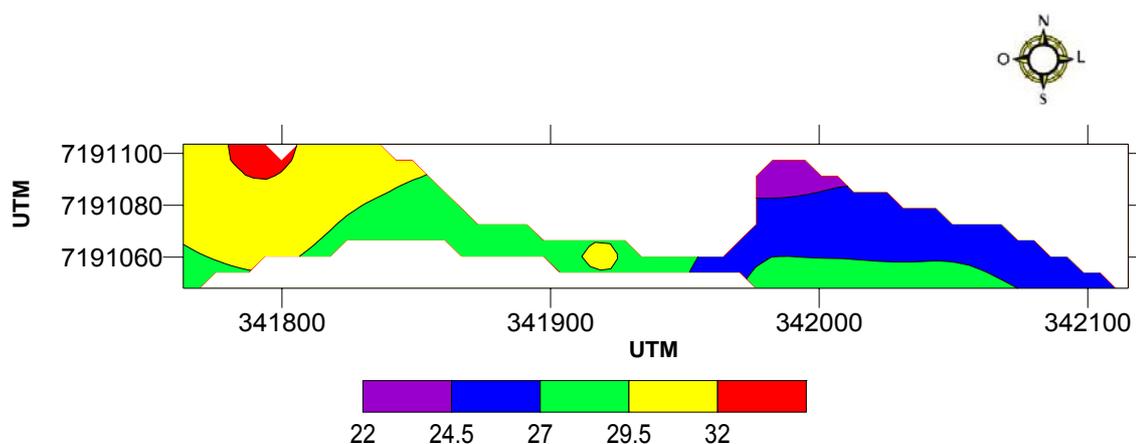


Figura 15 Espacialização do atributo químico do solo quanto ao teor de carbono (g.dm^{-3})

A região Leste da área experimental apresentou os maiores valores para Ca, K, Mg, Zn, Fe, Mn, pH, V %, diâmetro e comprimento dos frutos e produtividade. Logo, é possível afirmar que ela seja a região mais fértil do pomar. Pela sua importância no desenvolvimento das raízes, a falta de Ca resulta em um sistema radicular debilitado, com morte das extremidades das raízes. Conseqüentemente, ocorrem prejuízos no desenvolvimento normal de toda parte aérea, o que afeta a produção do pomar (EMBRAPA, 2003). Em

condições de baixa disponibilidade desse nutriente no solo (solos ácidos), o excesso de umidade (baixa transpiração) ou estresse hídrico, bem como os teores de cálcio nos frutos podem não atingir valores adequados (MENGEL & KIRKBY, 2000). Para a área em estudo (Figura 16), 94,4 % dos valores encontrados apresentam valores “altos”, o que afasta a hipótese de deficiência do nutriente.

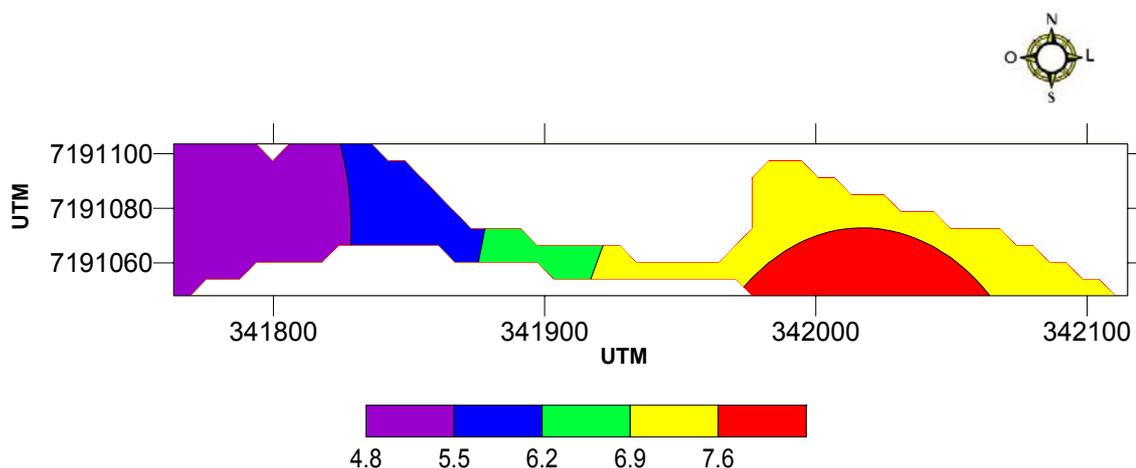


Figura 16 Espacialização do atributo químico do solo quanto ao teor de cálcio (cmolc dm^{-3}).

Da mesma forma que, para o Ca, os maiores valores de magnésio (Figura 17) encontram-se na região Leste da área experimental, não há grande variação entre os valores, pois 100 % dos valores são encontrados no nível alto. Do histórico da área, sabe-se que para a correção do pH foram utilizados calcário calcítico, (garantia mínima de 56 % de CaO) e também calcário dolomítico (garantia mínima de 30 % de CaO e 22 % de MgO). Por isso, são encontrados altos valores de Ca e Mg em toda a área experimental.

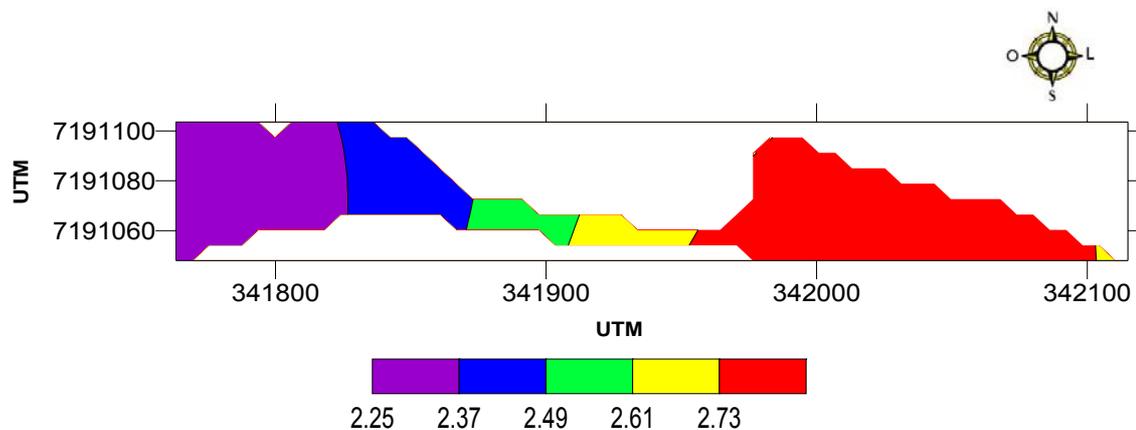


Figura 17 Espacialização do atributo químico do solo quanto ao teor de magnésio (cmolc dm^{-3}).

Já para o atributo químico quanto ao teor do potássio (Figura 18), 22% dos valores estão no nível médio/alto e 78 % estão no nível muito alto. As adubações de cobertura realizadas na área (setembro, novembro e janeiro) permitiram a reposição dos nutrientes retirados do solo pelas plantas, mantendo altos níveis dos mesmos.

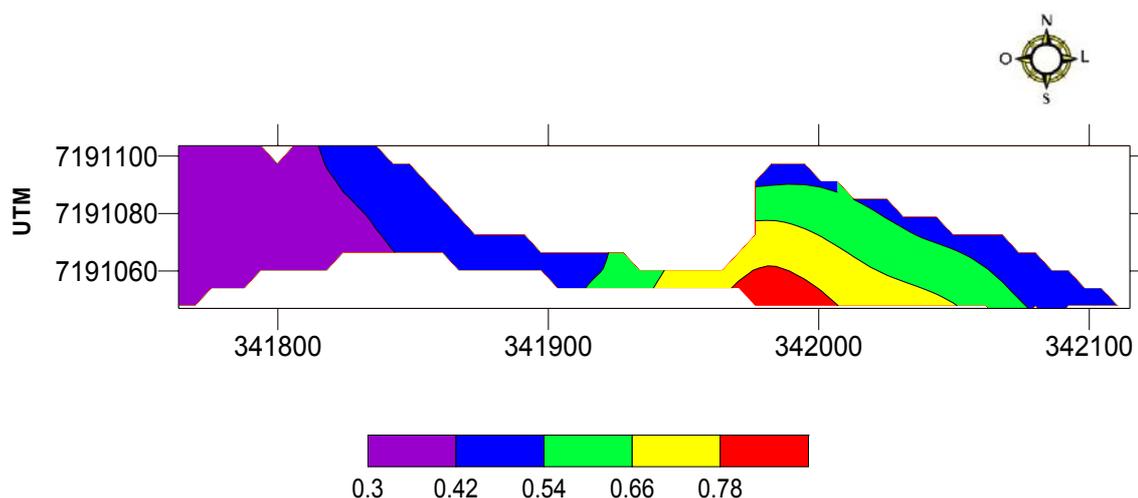


Figura 18 Espacialização do atributo químico do solo quanto ao teor de potássio (cmolc dm^{-3})

O tipo de solo, o relevo, a geologia e os processos erosivos influenciam a concentração e distribuição dos metais pesados (Zn e Cu) no ambiente, influenciando, inclusive, na sua biodisponibilidade (RAMALHO, AMARAL SOBRINHO & VELLOSO, 2000; COSTA, 2002). Os teores de zinco (Figura 19) variaram de 2,0 a 9,7 mg dm^{-3} (Tabela 2), porém, sem atingir níveis críticos que pudessem demonstrar possível contaminação do solo pelo elemento.

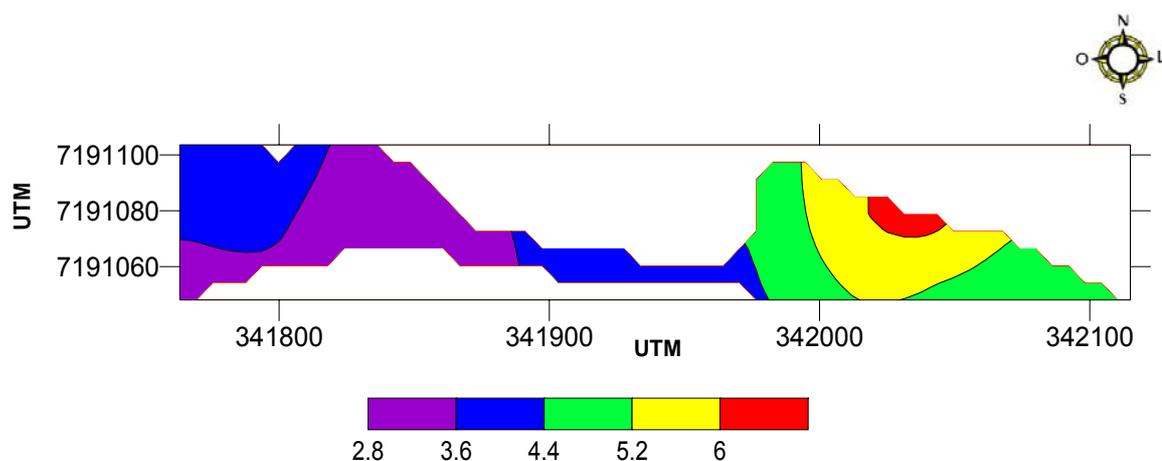


Figura 19 Espacialização do atributo químico do solo quanto ao teor de zinco (mg dm^{-3})

A pêra, fruta típica de clima temperado, é muito susceptível a doenças causadas por fungos que se proliferam mais rapidamente na presença de umidade e altas temperaturas (EMBRAPA, 2003). Logo, o controle é feito com aplicações quinzenais (com exceção do período de dormência) de fungicidas à base de cobre, visando à prevenção de doenças. Isto pode ter levado a maiores concentrações de cobre (Figura 20), as quais estão na região central da área experimental e podem estar relacionadas com a proximidade da mata nativa onde os índices de umidade podem ser maiores.

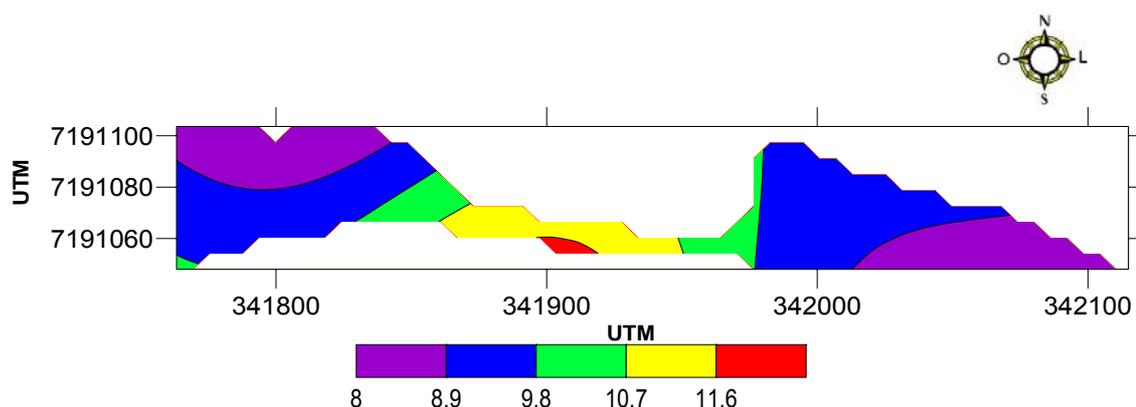


Figura 20 Espacialização do atributo químico do solo quanto ao teor de cobre (mg dm^{-3})

Os latossolos têm, em sua fração, a presença da argila e uma predominância de minerais à base de ferro (RAIJ, 1991). Este tipo de solo é predominante na região Oeste do Paraná. A faixa de pH onde se encontra a maior disponibilidade de ferro no solo está entre 4,0 e 6,0 (COSTA & OLIVEIRA, 2001). Na área em estudo, 83 % dos teores de ferro (Figura 21) encontram-se no nível alto e uma pequena área na região Oeste apresentou teores médios (17 %).

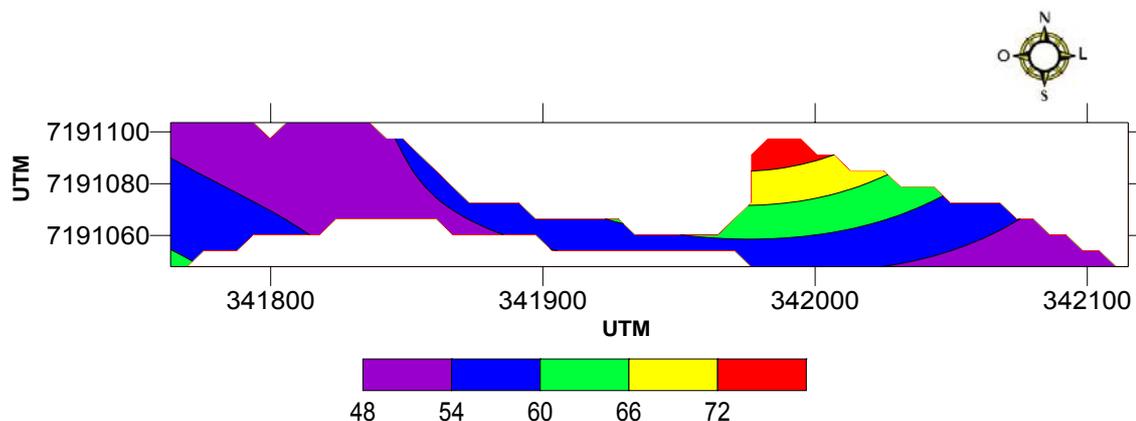


Figura 21 Espacialização do atributo químico do solo quanto ao teor de ferro (mg dm^{-3})

Considerando que a área experimental foi anteriormente cultivada com milho e soja em sistema de plantio direto, os altos níveis de Zn e Mn podem ser justificados pelas aplicações de fertilizantes foliares para suprir as necessidades do milho, o que pode ter elevado os valores desses elementos. Como para o atributo Zn, a distribuição espacial do Mn (Figura 22) apresentou os maiores teores na parte Leste da área. Segundo SALVADOR *et al.* (2003), em solos muito ácidos, o Mn está frequentemente presente em concentrações tóxicas, e sua disponibilidade pode ser reduzida mediante a elevação do pH, por meio da calagem.

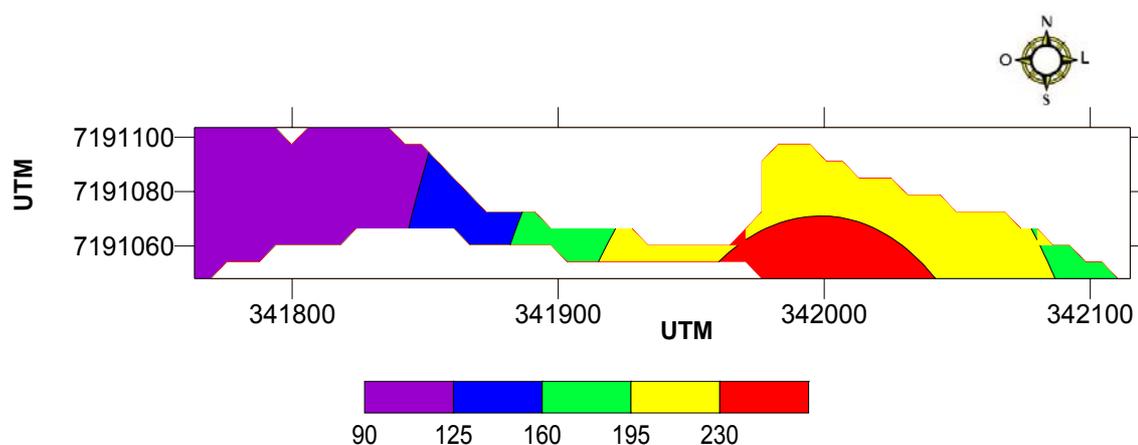


Figura 22 Espacialização do atributo químico do solo quanto ao teor de manganês (cmolc dm⁻³)

O pH do solo é um dos fatores mais importantes que influenciam a disponibilidade dos nutrientes essenciais, benéficos e tóxicos às plantas. A faixa ideal de pH CaCl está entre 5,5 a 6,5, onde há maior disponibilidade de nutrientes para as plantas. Após 4 a 6 anos da aplicação do calcário, o pH começa a diminuir por causa da lixiviação natural dos cátions e das reações acidificantes do solo (COSTA & OLIVEIRA, 2001). Pelos resultados das análises de solo, é possível observar que o pH (Figura 23) está um pouco abaixo do valor recomendado, principalmente na região Oeste da área experimental, sendo aconselhada à correção da acidez do solo.

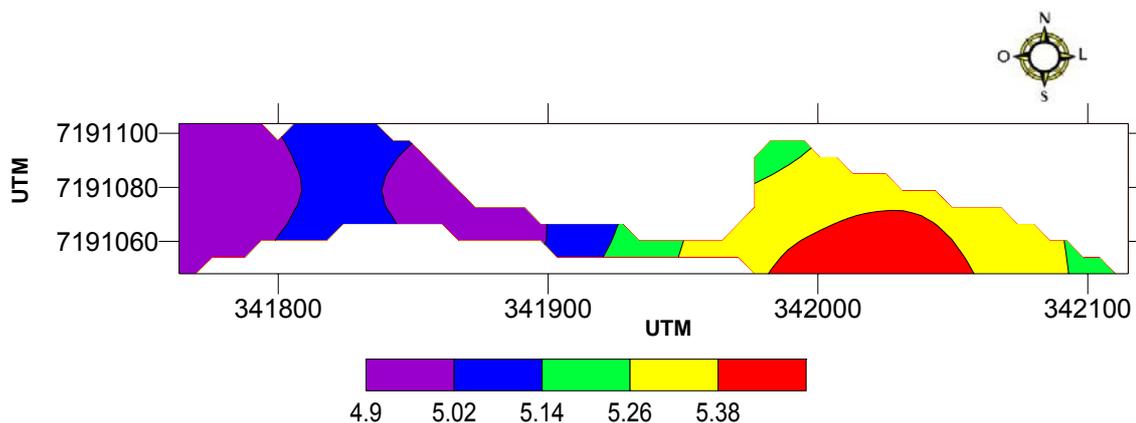


Figura 23 Espacialização do atributo químico do solo quanto ao pH

Segundo PERES (2002), quanto maior for o valor da soma de bases e menores forem os níveis de $Al^{3+} + H^{+}$ mais fértil será o solo. Por isso, a fertilidade de um solo é avaliada por sua saturação por bases, onde solos mais férteis apresentam V % maior que 50 %. O valor médio de saturação encontrado por bases foi de 66,3 % (Tabela 04), sendo que apenas uma pequena região no lado oeste da área experimental possui valores abaixo dos 52 % (Figura 24).

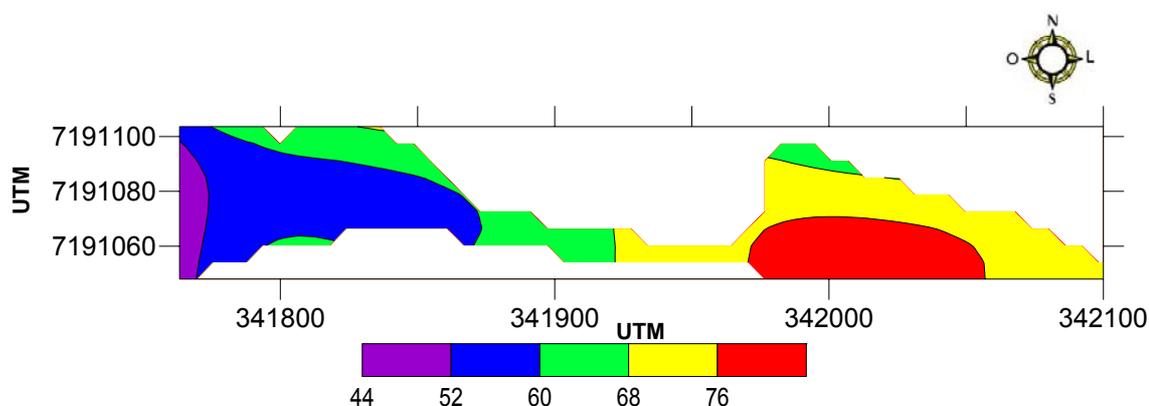


Figura 24 Espacialização da saturação por bases (V%)

O diâmetro (Figura 25) e o comprimento (Figura 26) foram maiores do lado leste da área experimental, mas apresentaram baixa correlação linear de Pearson ($R=0,16$) e coeficiente de correlação por postos maior ($R_s=0,41$), sugerindo uma relação não linear entre as variáveis (LANDIM, STURARO & MONTEIRO, 2002). É possível também afirmar que os maiores diâmetros e comprimentos de frutos foram encontrados na região mais fértil do pomar, onde, de maneira geral, a maioria dos atributos analisados apresentaram os maiores valores.

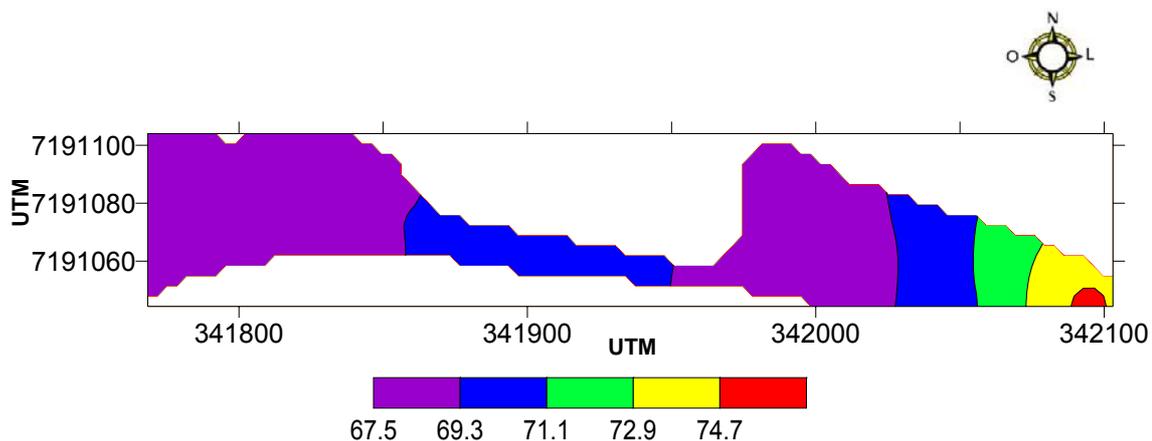


Figura 25 Espacialização do parâmetro diâmetro do fruto (mm)

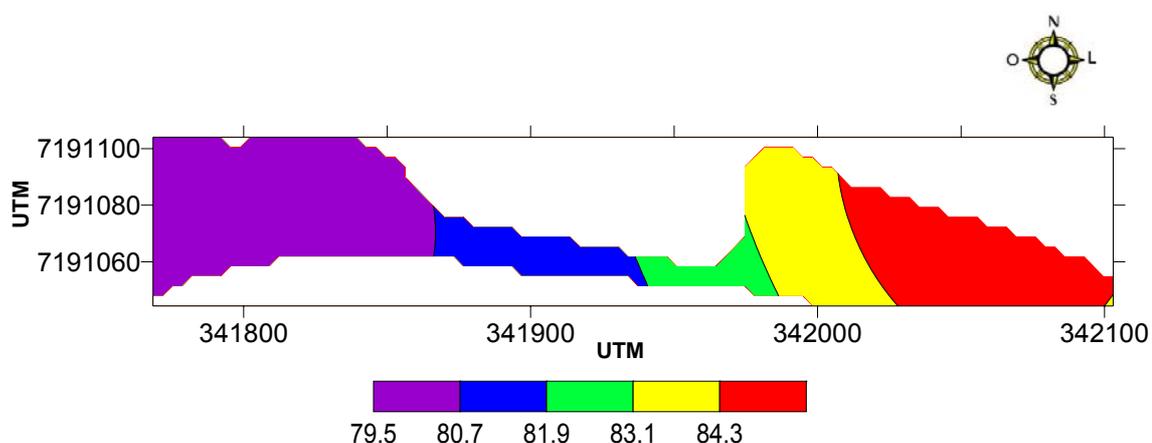


Figura 26 Espacialização do parâmetro comprimento do fruto (mm)

A menor produtividade (Figura 27) foi encontrada na parte oeste da área experimental, onde foram encontrados os menores valores para a maioria dos atributos analisados, enquanto que as maiores produtividades foram encontradas na região mais próxima à nascente de água e na região leste da área experimental, a mais fértil, onde os frutos apresentaram maior diâmetro e comprimento. As causas de tal variabilidade dentro do pomar podem ser diversas, dentre elas estão: as condições ambientais, o clima, o solo e sua topografia; são também fatores determinantes: relevo; grau de infestação de pragas, doenças e plantas invasoras; umidade e temperatura; profundidade e compactação do solo; histórico do manejo da área e problemas de drenagem.

Existem ainda fatores biológicos que afetam de maneira direta a produtividade das pereiras, os quais não foram discutidos neste trabalho, são exemplos: a quebra de dormência e a polinização.

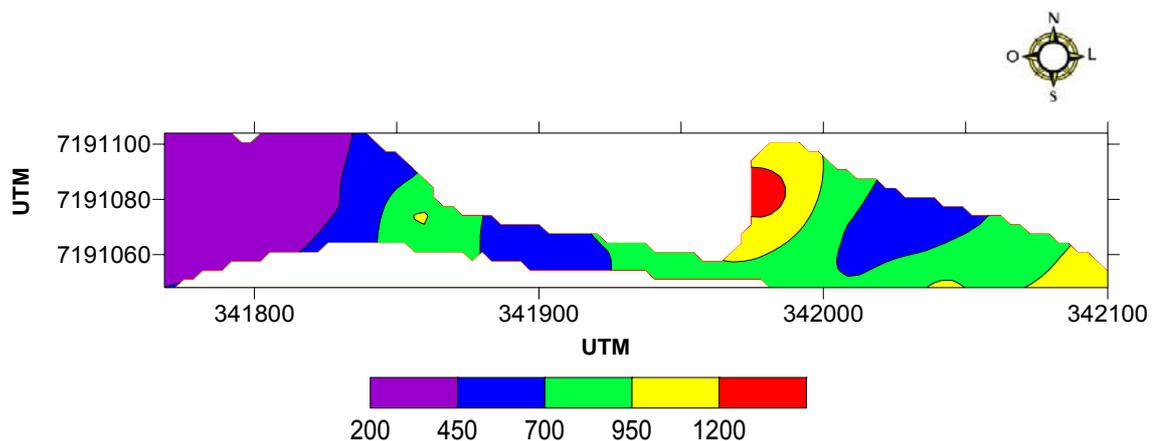


Figura 27 Espacialização do parâmetro produtividade (kg ha^{-1})

Há que se ressaltar, contudo, a necessidade de que eventuais pesquisas e investimentos sejam direcionados ao pomar, bem como a adoção de programas de produção integrada, fatores condicionantes do sucesso do empreendimento (EMBRAPA, 2003).

Os mapas dos atributos químicos do solo foram reclassificados (Figura 28) visando avaliar a distribuição dos valores das propriedades analisadas em relação aos níveis de interpretação (Tabela 05) sugeridos por COSTA & OLIVEIRA (2001). Como a reclassificação foi feita com os dados interpolados por krigagem, os valores extremos que apareciam na Tabela 02 desapareceram, devido ao fator de suavização proporcionado pela interpolação. Com isto, com exceção da saturação por bases, todos os mapas apresentaram uma só classe. Na prática convencional, a atitude a ser tomada seria a de aplicar doses constantes dos elementos P e Zn para elevá-los à condição de nível alto, visto que os outros já se apresentam na condição de alto ou muito alto. Já a saturação por bases seria, em parte, elevada do nível médio para o alto na parte oeste da área.

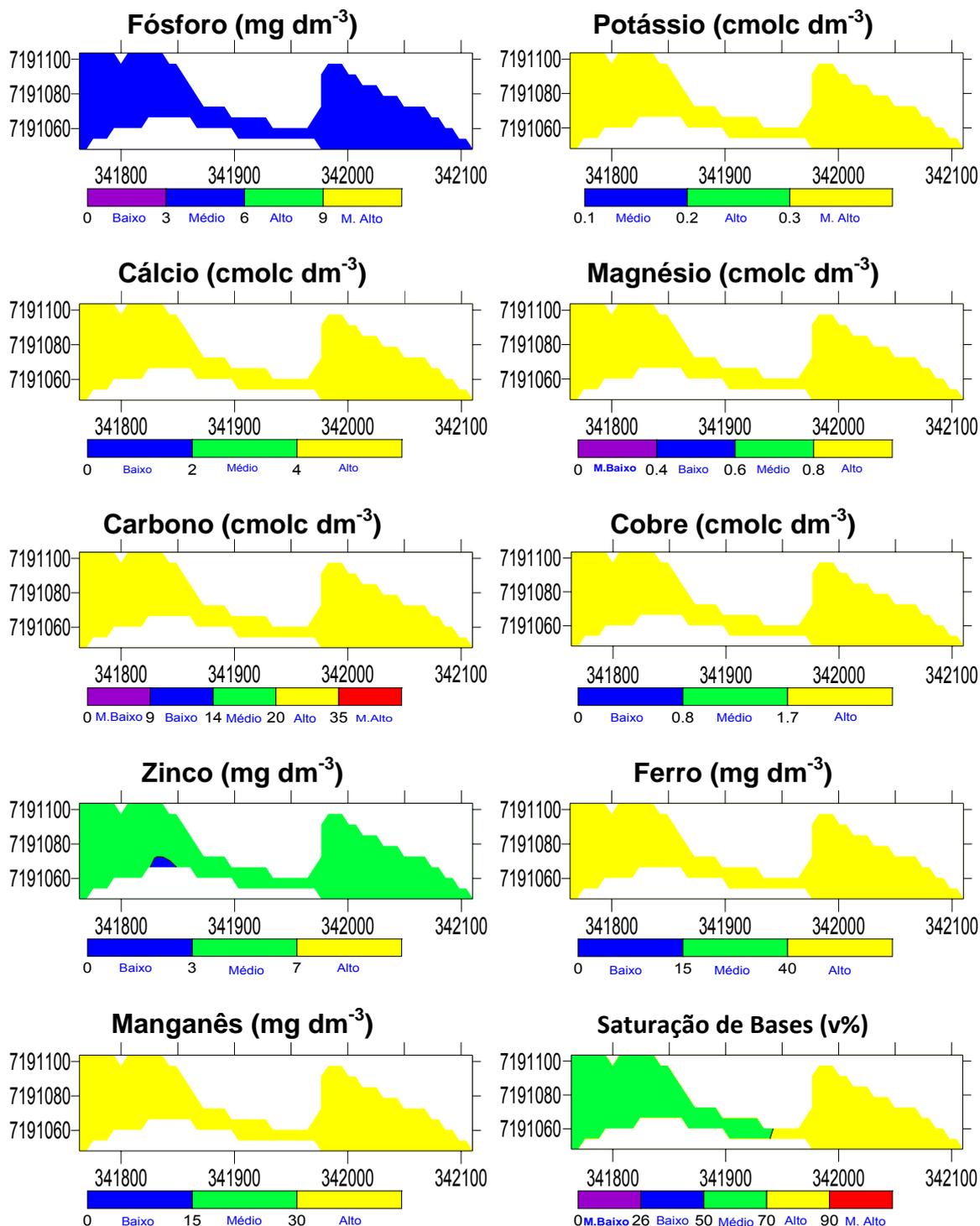


Figura 28 Espacialização de atributos químicos do solo (P, K, Ca, Mg, C, Cu, Zn, Fe, Mn e Saturação por bases) reclassificados, em função das coordenadas métricas – UTM

Modelos foram desenvolvidos para descrever a influência dos atributos do solo e da planta na produtividade de pêras (Prod. kg ha⁻¹) (Tabela 10), a partir da equação 8, possibilitando uma explicação para os valores de 54 % (R²=0,54) quando somente os atributos de solo foram considerados e 90 % (R²=0,90) quando os atributos da planta, comprimento e diâmetro dos frutos foram incluídos.

Tabela 10 Parâmetros do ajuste linear multivariado e coeficientes de determinação para a produtividade de pereiras (Prod. kg ha⁻¹)

Modelo	Constante	P ²	K	K ²	Cu ²	Fe	Mn	Sat ²	Comp ²	Diam.	pH	R ²
1	105554		19752		-91,9		71,2				-21981,5	0,54
2	-36124	85,6	71448	-52945	-52,3	119	49,3	-3,4	-1,8	541,9		0,90

Todos os estimadores foram estatisticamente significativos pelo teste t (p<0,05).

O ajuste dos modelos aos pontos amostrados pode ser visto nas Figuras 29 e 30.

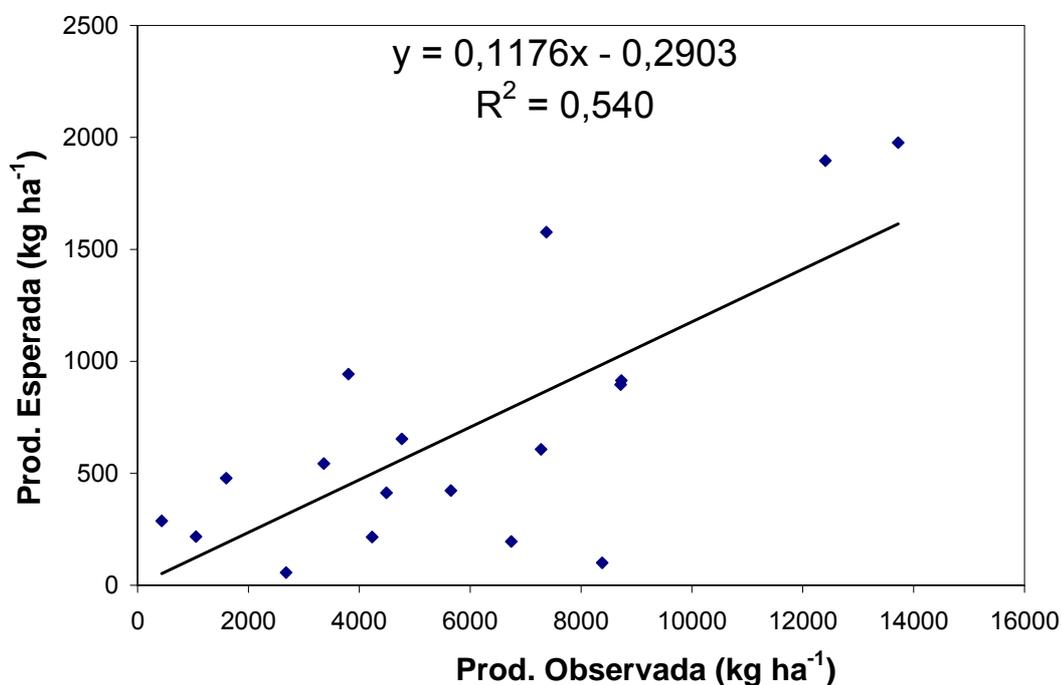


Figura 29 Predição do rendimento em função da produtividade observada para o modelo 1.

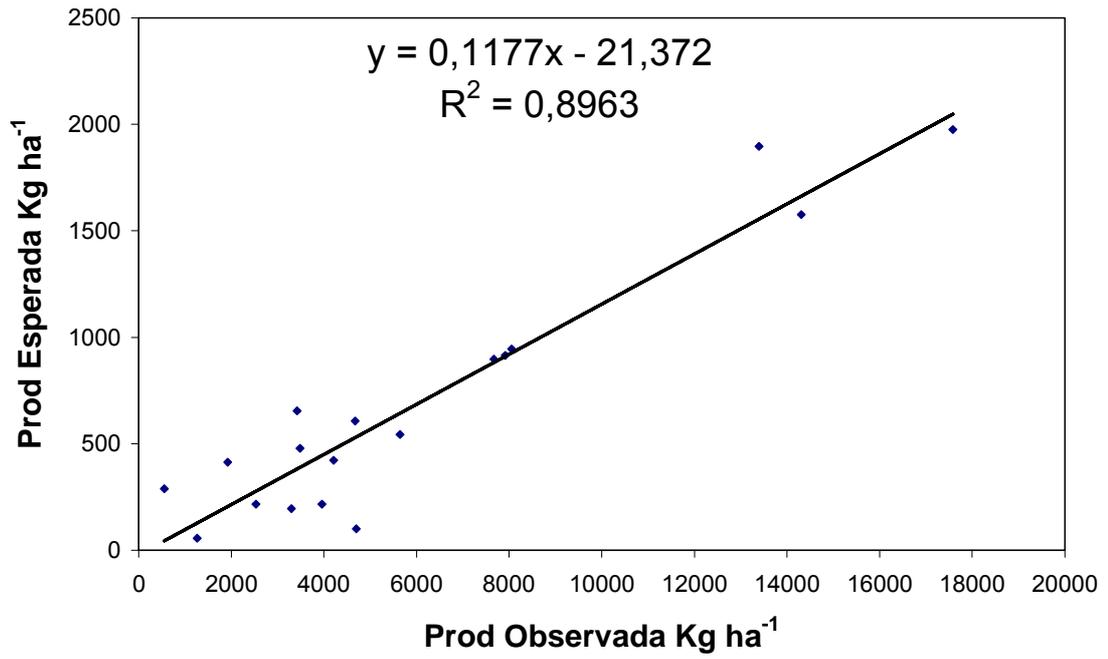


Figura 30 Predição do rendimento em função da produtividade observada para o modelo 2.

5 CONCLUSÕES

A produtividade das pereiras foi pouco correlacionada linearmente com os atributos analisados (P, K, Ca, Mg, pH, C, Cu, Zn, Fe, Mn, saturação por bases e comprimento e diâmetro dos frutos).

Os atributos analisados apresentaram variabilidades consideradas baixas (pH, comprimento e diâmetro da pêra), médias (Mg e C), altas (Ca e Cu) e muito altas (P, K, Zn, Fe, Mn e produtividade).

Foram encontrados níveis de dependência espacial muito baixo (comprimento dos frutos), baixo (P, diâmetro dos frutos), médio (Mg, pH, Cu, Zn, Fe), alto (Ca, K, saturação por bases e produtividade), e muito alto (Mn e C), segundo o índice de variabilidade espacial (IVE, %) proposto neste trabalho.

São recomendados novos estudos na área, utilizando-se a análise foliar, para melhor interpretação dos teores dos nutrientes considerados adequados para as pêras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARENGA, R.C.; CRUZ, J.C.; PACHECO, E.B. Preparo do solo. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, 13(147): 40-47, 1987.

ANDA, Associação Nacional para Difusão de Adubos. Solos, análises dizem o que falta. **Revista DBO Agrotecnologia**. Disponível em: <www.anda.org.br/portg/boletins> Acesso em 25 de janeiro de 2007.

ANDREOLA, F.; COSTA, L.M.; OLSZEWSKI, N. Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e, ou, mineral sobre as propriedades físicas de uma terra roxa estruturada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, p.857-865, 2000.

ARAGÃO, W. M.; RESENDE, J. M.; CRUZ, E. M. de O.; REIS, C. dos S.; SAGGIN JÚNIOR, O. J.; ALENCAR, J. A. de.; MOREIRA, W. A.; PAULA, F. R. de.; LIMA FILHO, J. M. P. Fruto do coqueiro para consumo natural. In: ARAGÃO, W. M. (Ed.). **Coco pós-colheita**. Brasília: Embrapa – CTATC, 2002. cap. 3, p. 19-25.

ARAÚJO, R. da C. **Produção, qualidade de frutos e teores foliares de nutrientes no maracujazeiro amarelo em resposta à adubação potássica**. 2001. 103 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

BAIO, F.H.R. **Aplicação localizada de defensivos baseada na variabilidade espacial das plantas daninhas**. 2001. 113p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

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

BALASTREIRE, L.A. Agricultura de precisão: mapeamento da produtividade de uma cultura de café (compact disc). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, Foz do Iguaçu, 2001. **Anais...** Jaboticabal: SBEA, 2001. CD-ROM.

BATAGLIA, O.C.; SANTOS, W.R. Efeitos da adubação NPK na fertilidade do solo, nutrição e crescimento da seringueira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.1, p.881-90, 1999.

BEIGUELMAN, B. **Curso prático de bioestatística**. 4. ed. rev. Sociedade Brasileira de Genética, Ribeirão Preto, 1996, 274p.

BLACKMORE, S. Precision farming: an introduction. **Outlook on Agriculture**, Elmsford, v.23, n.4, p.275-280, 1994.

BOLFE, E.L. Geoestatística como subsídio a implantação de agricultura de precisão. 2005. **AGRONLINE**. Disponível em: <<http://www.agronline.com.br/artigos/artigo.php?id=210>> Acesso em 24 de setembro de 2007.

BOLFE, E.L.; GOMES, J.B.V.; FONTES, H.R. Variabilidade espacial de atributos do solo como subsídio para produção integrada de frutas em perímetro irrigado no nordeste do Brasil. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 67-74.

BUSSAB, W. O.; MORETTIN, P. A. **Estatística básica**. 5. ed. São Paulo. Editora Saraiva. 2003. 526p.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V.; DRUCK, S.; CARVALHO, M. S. **Análise espacial de dados geográficos**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados; 2004. 209 p.

CAMARGO, O.A.; BORBA, R.P.; ALLEONI, L.R.F. Metais pesados: da cosmogênese aos solos brasileiros. XXX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 29: **Anais CD-ROM**, 2003.

CAMARGO, E.C.G.; MONTEIRO, A.M.V.; FELGUEIRAS, C.A.; FUKS, S.D.; **Integração de geoestatística e sistemas de informação geográfica: uma necessidade**. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/geopro/trabalhos/gisbrasil99/geoest_gis/> Acesso em 28 de setembro de 2007.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.58, p. 1501-1511, 1994.

CAMPOS, H. **Estatística experimental não-paramétrica**. Piracicaba, SP: Nobel. 1983. 332 p.

CASTRO, O.M. Sistema de preparo de solo e rotação de culturas para milho e soja. **Relatório Técnico Anual**. Campinas, Instituto Agrônomo, 1988.

CLARK, I. **Practical geostatistics**. London: Applied Science, 1979. 151p.

CONCEIÇÃO, G.M.S.; ALENCAR, A.P.; ALENCAR, G.P. Noções básicas de estatística. **Apostila**. Disponível em: <http://portal.saude.gov.br/portal/arquivos/pdf/apostila_estatistica.pdf> Acesso em 23 de agosto de 2007.

CORÁ, J. E.; MARQUES JÚNIOR, J. Mecanização e agricultura de precisão. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola (CONBEA), 27, 1998, Poços de Caldas. **Anais...** Poços de Caldas: UFLA, 1998. Artigos, p. 31-7.

CORREA, H. **Polinização entomófila.** Disponível em: <<http://polinizacaoentomofila.blogspot.com/2005/11/o-equilibrio-ecolgico>> Acesso em 13 de dezembro de 2006.

COSTA, J.M.; OLIVEIRA, E.F. **Fertilidade do solo e nutrição de plantas.** Cascavel: COAMO/COODETEC, 2001. 93p.

COSTA, M.C.R. **Avaliação da contaminação ambiental por metais pesados em áreas rurais próximas a uma indústria de reciclagem de chumbo no vale do rio Paraíba do Sul.** 2002. 176p. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

CRESSIE, N. A.; HAWKINS, D. M. Robust estimation of the variogram. **Mathematical Geology Journal.** New York, v. 12, p. 115-125, 1980.

CRESSIE, N. Fitting variogram models by weighted least squares. **Mathematical Geology Journal.** New York, v. 17, p. 563-586, 1985.

CRESSIE, N. A. Statistics for spatial data. **Wiley Series in probability and mathematical statistics.** New York: John Wiley & Sons, 1993. 900p.

DRUCK, S.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. **Análise espacial de dados geográficos.** Planaltina, DF: Embrapa Cerrados; 2004. 209p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** Rio de Janeiro, 1999. 412p.

EMBRAPA. **Sistema de Produção.** Cultivo do Milho. 2000. Disponível em: www.sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/ 2000. Acesso em 25/09/2006.

EMBRAPA. **Produção Integrada de Manga e Uva.** 2001. Disponível em: <www.cnpma.embrapa.br/projetos/prod_int/sitistemas.html> Acesso em 25 de setembro de 2006.

EMBRAPA. **Pêra produção.** Embrapa Informação Tecnológica. Brasília, DF. 2003. 105 p

ENGLUND, E.; SPARKS, A. Geo-EAS (**Geoestatistical Environmental Assessment Software**). Las Vegas: U.S. Environmental Protection Agency. 1. v. 1988.

FADIGAS, F. S. **Estimativas das concentrações naturais (pseudo-total) de Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn em solos brasileiros e proposição de valores de referência utilizando técnicas da estatística multivariada.** 2002. 148 p. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

FARIAS, P.R.S.; NOCITI, L.A.S.; BARBOSA, J.C.; PERECIN, D. Agricultura de precisão: mapeamento de produtividade em pomares cítricos usando

geoestatística. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.25, n.2 p.235-241, 2003.

FIORAVANÇO, J.C.; **A cultura da pereira no Brasil: situação econômica e entraves para o seu crescimento**. Instituto de Economia Agrícola. 2007. Disponível em: <www.iab.org.br/wp-content/uploads/2007/07/boletin-on-line-32.pdf> Acesso em 15 de abril de 2007.

FREIRE, C.J.S. Recomendação de adubação potássica de manutenção para a cultura da ameixeira por meio da análise foliar. **Comunicado Técnico 67**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Pelotas, RS, 2002.

FREITAS, B.M. **Uso de programas racionais de polinização em áreas agrícolas**. Disponível em: <<http://www.bichoonline.com.br/2005>> Acesso em 13 de dezembro de 2006.

GEOCITIES. **Fruticultura**. 2006. Disponível em: <www.geocities.com/fruticulturabr> Acesso em 22 de novembro de 2006.

GOMES, F.P. **Curso de estatística experimental**. 12 ed. Piracicaba: USP/ESALQ, 1987. 477 p.

GOMES, R.P. **Fruticultura Brasileira**. São Paulo: Nobel 1989. 445 p.

GODEFROY, J.; DORMOY, M. Dynamique des éléments minéraux fertilisants dans un ferrisol de Martinique sous culture bananière. Application à la programmation de la fumure. **Fruits**, Paris, v.45, n.2, p.93-101, 1990.

ISAAKS, E.H.; SRIVASTAVA; R.M. **Applied geostatistics**. 1 ed. Oxford: Oxford University Press, 1989. 561p.

ISCA. Produção Integrada de Frutas. **Isca Tecnologias 2005**. Disponível em <www.isca.com.br/novo/isca> Acesso em 10 de março de 2007.

JOHNSON, G.A.; MORTENSEN, D.A.; GOTWAY, C.A. Spatial and temporal analysis of weed populations using geostatistics. **Weed Science**, Champaign, v.44, n.3, p.704-10, 1996.

LAMPARELLI, A.C.; ROCHA, J.V.; BORGHI, R. **Geoprocessamento e agricultura de precisão: fundamentos e aplicações**. Guaíba: Agropecuária, 2001. 118p.

LANDIM, P.M.B. **Análise estatística de dados geológicos**. São Paulo: Ed. UNESP, 1998. 226p.

LANDIM, P.M.B.; STURARO, J.R.; MONTEIRO, R. C. **Exemplos de aplicação da cokrigagem**. DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, Lab. Geomatémática. Texto didático 09, 17 pp. 2002. Disponível em:

<<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>> Acesso em 15 de outubro de 2007.

LEAL, J.C.G. **Mapeamento da produtividade na colheita mecanizada do café**. 2002. 89 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

LEENAERS, H.; OHX, J. P.; BURROUGH, P. A. **Comparison of spatial prediction methods for mapping floodplain soil pollution**. *Catena*, v. 17, p. 535-550, 1990.

LOPES, A.S. **Manual internacional de fertilidade do solo**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa do Fosfato. 1995. 177p.

LOPES, A.S. **Manual internacional de fertilidade do solo**. Tradução e Adaptação. 2. ed. Piracicaba, Potafos, 1998. 177p.

LÓPEZ, A.; ESPINOSA, J. **Manual de nutrición y fertilización del banano**. Quito: CORBANA-INPOFOS, 1995. 82p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.

MASCARIN, L.S. **Caracterização de sistemas de colheita e desenvolvimento de técnica para a obtenção de mapas de produtividade para citros**. 2006. 78f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

MARQUES JÚNIOR, J. Variabilidade espacial de propriedades químicas e físicas de latossolos em áreas de cerrado sob cultivo de café, em Patrocínio, MG. In: BALASTREIRE, L.A. **O estado da arte da agricultura de precisão no Brasil**. Piracicaba, ESALQ, 2000. p.165-169.

MATHERON, G. Principles of geostatistics. **Economic Geology Journal**, v.58, n.8, p. 1246-1266,1963.

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principios de nutrición vegetal**. Basel, Switzerland: International Potash Institute. 2000. 692p.

MIRANDA, N.O.; OLIVEIRA, T.S.; LEVIEN, S.L.; SOUZA, E.R. Spatial variability of fruit quality of melon under fertigation in Mossoró, Brazil. **Horticultura Brasileira**, Campinas, v. 23, n. 2, 2005 Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-05362005000200016&lng=en&nrm=iso> Acesso em 14 de agosto de 2007.

MILANI, L. **Determinação de unidade de manejo em área de soja cultivada utilizando técnicas de agricultura de precisão**. 2005. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, Paraná.

MOLIN, J. P. Agricultura de precisão. Parte 1. **Revista Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v. 17(2), p. 97-107, 1997.

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

NEVES, C.M.N.; SIVA, M.L.N.; CURI, N.; CARDOSO, E.L.; MACEDO, R.L.G.; FERREIRA, M.M.; SOUZA, F.S. Atributos indicadores da qualidade do solo em sistema agrossilvopastoril no noroeste do estado de Minas Gerais. **Revista Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 74, p. 45-53, 2007.

NICHOLSON, F.A. An inventory of heavy metals inputs to agricultural soils in England and Wales. **The science of the total environment**, v. 311, Issues 1-3, 20 July 2003, p. 205-219.

OLIVEIRA, G.C.; DIAS JÚNIOR, M.S.; RESCK, D.V.S.; CURI, N. Alterações estruturais e comportamento compressivo de um Latossolo Vermelho distrófico argiloso sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.2, p.291-299, 2003.

OLIVEIRA JUNIOR, M.E.; MANICA, I. PRINCIPAIS PAÍSES PRODUTORES DE FRUTAS NO ANO DE 2005. **Toda Fruta**. 2006. Disponível em: <http://www.todafruta.com.br/todafruta/mostra_conteudo.asp?conteudo=1444> Acesso em 15 de janeiro de 2008.

ORTIZ, J.L. **Geoprocessamento e agricultura de precisão**. Disponível em: <www.gpsglobal.com.br> Acesso em 10 de maio de 2007.

PERES, L. E. P. Nutrição Mineral. **Apostila**, 2002. Disponível em: <http://orion.cpa.unicamp.br/sbfv/arquivos/aulas/grad01/05__nutricao_mineral/NutricaoMineral.pdf> Acesso em: 21 de outubro de 2007.

PRAAT, J.; MOWAT, A.; AMOS, N. Spatial variability of fruit quality. The 13th Annual Colloquium of the Spatial Information Research Centre, 2001, Dunedin. **Proceedings...** Dunedin: University of Otago, 2001. 7 p.

QUEIROZ, J. E.; GONÇALVES, A. C.; SOUTO, J. S.; FOLEGATTI, M. V. Avaliação e monitoramento da salinidade do solo. In: GHEYI, H. R.; QUEIROZ, J. E. **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: UFPB, 1997. p. 69-101.

QUEIROZ, D.M. de.; DIAS, G.P.; MANTOVANI, E.C. Agricultura de precisão na produção de grãos. In: Simpósio Internacional de Agricultura de Precisão, 1., Viçosa, 2000. **Anais...** Viçosa: s. ed., 2000. p.1-42.

RAIJ, V.B. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba, Ceres, Potafós, 1991, 343p.

RAMALHO, J.F.G.P.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; VELLOSO, A.C.X. Contaminação da microbacia de Caetés com metais pesados pelo uso de agroquímicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.7: p.1289-1303, 2000.

RIBEIRO JUNIOR, P.J. **Métodos geoestatísticos no estudo da variabilidade espacial de parâmetros do solo**. 1995, 99p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

RODRIGUES, A.C. ; HERTER, F.G.; VERÍSSIMO, V.; CAMPOS, A.D.; LEITE, G.B.; SILVA, J.B.; Balanço de carboidratos em gemas florais de dois genótipos de pereira sob condição de inverno ameno. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 28, n.1, Jaboticabal, 2006.

RURALNET. **Toda Fruta**. Boletim 200 do IAC, SP. Disponível em: <www.ruralnet.com.br/frutiferas/pera.asp> Acesso em 25 de setembro de 2006.

SAES, L.A. **Resposta da bananeira “nanicão” à calagem na região do Vale do Ribeira**. 1995, 82 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SALVADOR, J.;O.; MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E.; CABRAL, C.;P. Influência do boro e do manganês no crescimento e na composição mineral de mudas de goiabeira. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras. v.27, n.2, p.325-331, mar./abr., 2003.

SALVIANO, A.A.C.; VIEIRA, S.R.; SPAROVEK, G. Variabilidade de atributos de solo e de *Crotalaria juncea* em área severamente erodida. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, n.1, p.115-122, 1998.

SANCHES, A.C.; SILVA, A.P.; TORMENA, C.A.; RIGOLIN, A.T. Impacto do cultivo de citros em propriedades químicas, densidade do solo e atividade microbiana de um podzólico vermelho amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.1, p.91-9, 1999.

SANTOS, S.G. **Métodos de associação entre escores** (Correlação linear simples). Disponível em: <www.cds.ufsc.br/~saray/Correlacao.pdf> Acesso em 16 de outubro de 2007.

SCHUELLER, J.K.; WHITNEY, J.D.; WHEATON, T.A.; MILLER, W.M.; TURNER, A.E. Low-cost automatic yield mapping in hand-harvested citrus. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v.23, n.2, p.145-53, 1999.

SCHUELLER, J.K. O estado da arte da agricultura de precisão nos Estados Unidos. In: BALASTREIRE, L.A. **O estado da arte da agricultura de precisão no Brasil**. Piracicaba: Luiz Antonio Balastreire, 2000. p.8-16.

SILVA, A.P. **Variabilidade espacial de atributos físicos do solo**. 1988. 105p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L.; VIEIRA, S.R. Variabilidade da resistência à penetração de um Latossolo Vermelho-Escuro ao longo de uma transeção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.13, n.1, p.1-5, 1989.

SILVA, E. A. A.; URIBE-OPAZO, M. A.; SOUZA, E. G.; JOHANN, J. A. Um estimador robusto e o semivariograma cruzado na análise de variabilidade espacial de atributos agrícolas. **Acta Scientiarum**, Maringá, Paraná, v. 25, p. 365-371, 2003.

SILVA, R.A.; CAVALCANTE, L.F.; HOLANDA, J.S.; PEREIRA, W.E.; MOURA, M.F.; FERREIRA NETO, M. Qualidade de frutos do coqueiro-anão verde fertirrigado com nitrogênio e potássio. **Revista Brasileira de Fruticultura**. Jaboticabal, v. 28, n. 2, p. 310-313, 2006.

SILVA, F.M.; SOUZA, Z.M.; FIGUEIREDO, C.A.P.; MARQUES JUNIOR, J.; MACHADO, R.V. Variabilidade espacial de atributos químicos e de produtividade na cultura do café. **Ciência Rural**, Santa Maria v. 37, n. 2, 2007.

SHIMAKURA, S. **Bioestatística avançada I**. Departamento de Estatística - UFPR. Disponível em: <leg.ufpr.br/~shimakur/CE701/node78.html.> Acesso em 16 de outubro de 2007.

SHIRATSUCHI, L.S. **Mapeamento da variabilidade espacial das plantas daninhas com a utilização de ferramentas da agricultura de precisão**. 2001. 96 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Piracicaba: ESALQ, USP.

SPERA, S.T.; SANTOS, H.P.; FONTANELI, R.S.; TOMM, G.O. Efeitos de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos de solo e na produtividade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.3, p.533-542, 2004.

TEIXEIRA, L.A.J.; NATALE, W.; RUGGIERO, C. Alterações em alguns atributos químicos do solo decorrentes da irrigação e adubação nitrogenada e potássica em bananeira após dois ciclos de cultivo. **Revista Brasileira de Fruticultura**. Jaboticabal, v. 23, n.3, p. 684-689, 2001.

TIBOLA, C.S.; FACHINELLO, J.C. Tendências e estratégias de mercado para a fruticultura. **Revista brasileira de Agrociência**, v.10, n. 2, p. 145-150, abr-jun, 2004.

VALLADARES, G.S.; CAMARGO, O.A.; AZEVEDO, E.C.; SILVA, A.M.C. Variabilidade espacial e disponibilidade de zinco em solos de vinhedos e adjacências da região vitícola de Jundiaí, SP. XIII Simpósio Brasileiro de

Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, **Anais**. INPE, p. 449-456.

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

VIEIRA, S.R. Uso da geoestatística em estudos de variabilidade espacial. In: Curso de atualização em conservação do solo, 1995. **Apostila**. Campinas: IAC, 1995. 61p.

VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de argila, silte e atributos químicos em uma parcela experimental de um Latossolo roxo de Campinas (SP). **Bragantia**, vol. 56, n. 1, Conservação do solo, VIII: 1-13. Campinas, 1997.

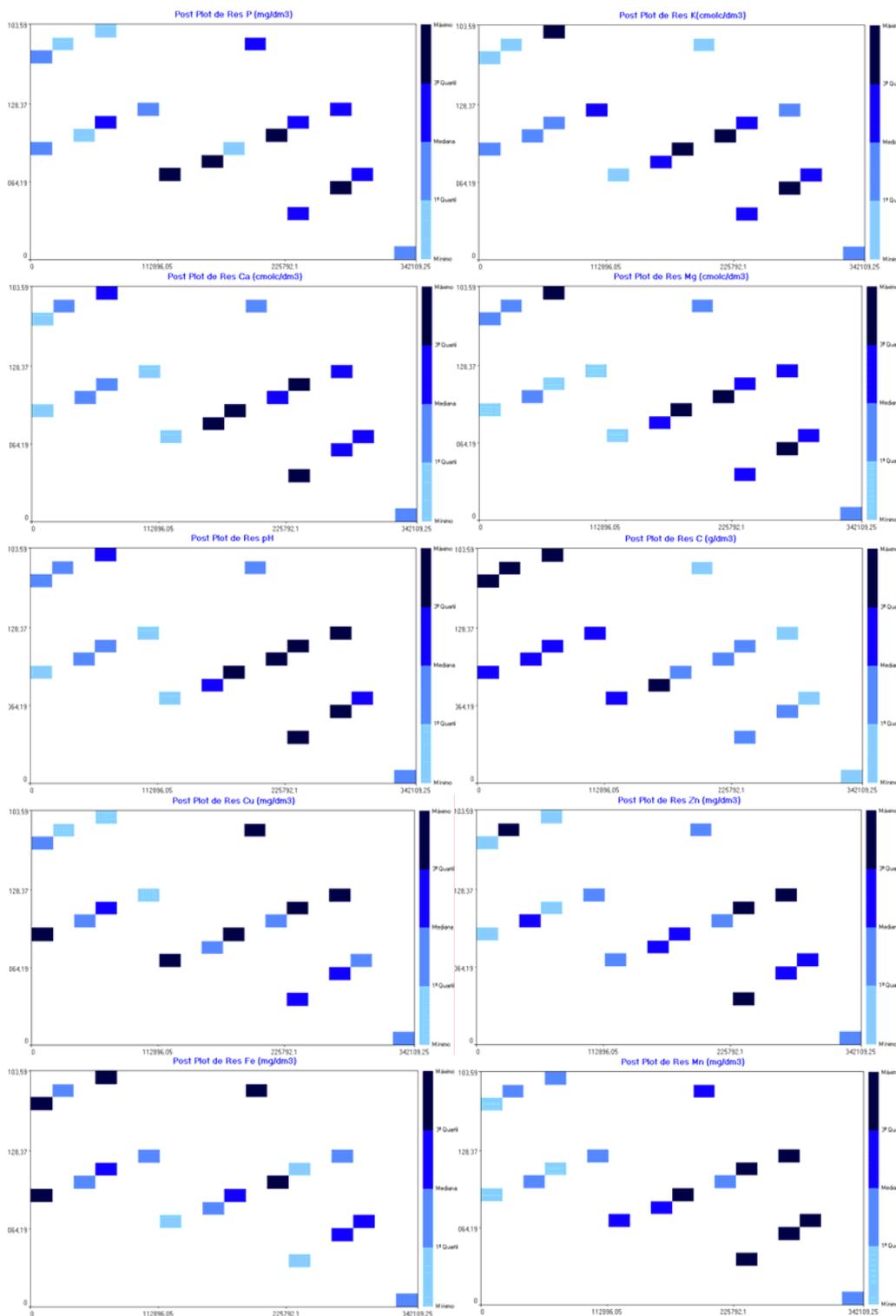
VIEIRA, S.R. Geoestatística aplicada à agricultura de precisão. In: **GIS Brasil' 98**, Curitiba, PR: Sagres, 1998, 53 p.

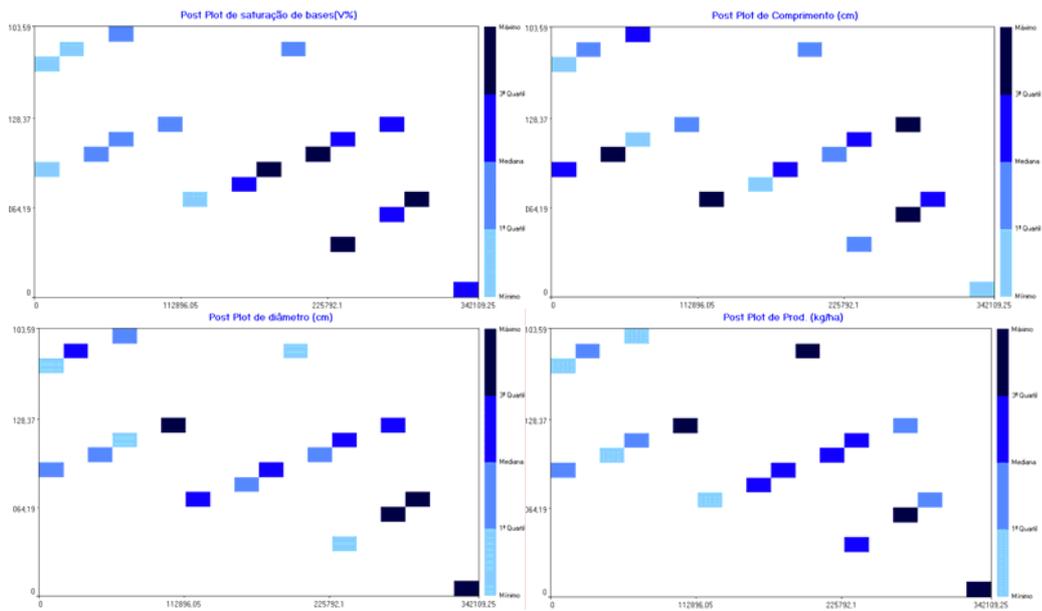
WHITNEY, J.D.; MILLER, W.M.; WHEATON, T.A.; SALYANI, M. Precision farming applications in Florida Citrus. In: ASAE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 1999, Orlando. **Proceedings...** St. Joseph: ASAE, 1999. 10 p. (Paper, 981097).

ZAMBOLIM, L.; **Manejo integrado; produção integrada; fruteiras tropicais; doenças e pragas**. Viçosa, MG, 2003, 578p.

ANEXOS

ANEXO A Gráficos de Postplot





Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)