

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

**VARIABILIDADE ESPACIAL TRIDIMENSIONAL DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS
DE FRUTOS EM POMAR DE LARANJAS**

ELOI GASPARIN

**CASCAVEL - PR
NOVEMBRO - 2013**

ELOI GASPARIN

**VARIABILIDADE ESPACIAL TRIDIMENSIONAL DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS
DE FRUTOS EM POMAR DE LARANJAS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola, área de concentração em Engenharia de Sistemas Agroindustriais.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Godoy de Souza

Co-orientador: Prof. Dr. Miguel Angel Uribe-Opazo

**CASCADEL - PR
Novembro - 2013**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Ficha catalográfica elaborada por Jeanine da Silva Barros CRB-9/1362

G232v Gasparin, Eloi
 Variabilidade espacial tridimensional dos atributos químicos e físicos
 de frutos em pomar de laranjas. / Eloi Gasparin — Cascavel, PR:
 UNIOESTE, 2013.
 154 f.; 30 cm.

 Orientador: Prof. Dr. Eduardo Godoy de Souza
 Co-orientador: Prof. Dr. Miguel Angel Uribe-Opazo
 Tese (Doutorado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná.
 Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia Agrícola,
 Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas.
 Bibliografia.

 1. *Citrus Sinensis* (L.) Osbeck. 2. Fruticultura de precisão. 3.
 Variabilidade tridimensional. I. Universidade Estadual do Oeste do
 Paraná. II. Título.

CDD 21. ed. 634

* Revisor de normas, português e inglês: Ana Maria M. A. Vasconcelos.
Em fevereiro de 2014.

ELOI GASPARIN

"Variabilidade espacial tridimensional dos atributos químicos e físicos de frutos em pomar de laranjas"

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação "*Stricto Sensu*" em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de doutor em Engenharia Agrícola, área de concentração Engenharia de Sistemas Agroindustriais, aprovada pela seguinte banca examinadora:


Orientador: Prof. Dr. Eduardo Godoy de Souza

Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE


Prof. Dr. Marcos Milan

Departamento de Engenharia de Biosistemas, USP/ESALq


Prof. Dr. Tiago Roque Benetoli da Silva

Departamento de Ciências Agrônômicas, UEM


Prof. Dr. Erivelto Mercante

Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE


Prof. Dr. Márcio Furlan Maggi

Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE

Cascavel, 08 de novembro de 2013.

*Pai nosso, que estais no céu,
santificado seja o vosso nome,
vem a nós o vosso reino,
seja feita a vossa vontade,
assim na terra como no céu.
O pão nosso de cada dia nos dai hoje,
Perdoai-nos as nossas ofensas,
Assim como nós perdoamos a quem nos tem ofendido,
E não nos deixeis cair em tentação,
Mas livrai-nos do mal,
Amém.
(Jesus)*

BIOGRAFIA

Eloi Gasparin

Natural de Céu Azul, Paraná, nascido aos 27 dias do mês de setembro de 1971, possui graduação em Engenharia Agrícola (1992) e mestrado em Engenharia Agrícola (2004) pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

Trabalhou como professor no Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial - SENAI, Cascavel, PR, Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE, Cascavel, PR, Universidade Luterana do Brasil - ULBRA, Santarém, PA; Faculdade União Dinâmica Cataratas (UDC), Cascavel, PR; Faculdade Assis Gurgacz, Cascavel, PR e Faculdade Integrado, Campo Mourão, PR. Foi coordenador do curso de Engenharia Agrícola entre os anos de 2005 a 2009 na ULBRA. Em novembro de 2013 foi aprovado em processo simplificado e atua como professor substituto na Universidade Federal do Oeste do Pará - UFOPA, campus Santarém - PA.

Atua na área de Engenharia Agrícola, com ênfase nos seguintes temas: Máquinas e mecanização agrícola, agricultura de precisão, topografia, irrigação e biodigestão.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Antônio e Lourdes Gasparin, pelo empenho e esforço em oferecer sempre condições para que eu seguisse adiante em minha qualificação.

Aos meus filhos, Gustavo e Leonardo Gasparin, aos quais dedico todo meu esforço na realização deste trabalho. Saibam que todo empenho e dedicação são para vocês.

Vocês são especiais.....vocês são o motivo! Amo vocês!

AGRADECIMENTOS

Primeiro, ao ser superior, ao Grande Arquiteto do Universo "Deus", que está sempre ao meu lado, e porque, por tua bondade e misericórdia, tem sido possível vencer as dificuldades interpostas em meu caminho e prosseguir em frente;

Ao professor e orientador EDUARDO GODOY DE SOUZA, que sempre e prontamente esteve à disposição para me ajudar no decorrer deste trabalho. Obrigado professor;

Ao meu co-orientador, professor MIGUEL ANGEL URIBE-OPAZO, pela colaboração e auxílio prestado na condução do trabalho;

Aos demais professores do PGEAGRI, fundamentais para minha qualificação no doutorado, pelos conhecimentos adquiridos nas disciplinas cursadas e nas conversas informais;

À amiga MARCIA KONOPATZKI e ao seu esposo LUIZ KONOPATZKI, pela gentileza da cessão do pomar para a condução do experimento e por todo auxílio prestado durante nossa convivência na universidade;

Aos amigos DAVI MARCONDES ROCHA, RAFAELA NICOLAU, DARLISSON BENTES, VANDERLEI BIER, KELYN SCHENATTO, FLAVIO RODRIGUES, DIEGO ALVES DOS SANTOS, JOÃO PAULO THOMAS, VANDERLEIA SCHOENINGER, TABATA BISCHOFF, LUAN DE PAULA, SIMONE KONOPATZKI, pelo auxílio prestado durante o desenvolvimento deste trabalho;

À UNIOESTE, através do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade na minha qualificação no Doutorado;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio com a bolsa de estudos concedida durante o período de doutorado;

A todos os demais amigos do PGEAGRI e funcionários da UNIOESTE, pelo tempo de convivência e pela amizade construída. Grande abraço a todos!!!!

VARIABILIDADE ESPACIAL TRIDIMENSIONAL DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DE FRUTOS EM POMAR DE LARANJAS

RESUMO

O aumento da produção e da produtividade bem como a correta utilização dos insumos agrícolas são fatores indispensáveis quando se pensa em agricultura moderna. Com o surgimento da agricultura de precisão, várias técnicas anteriormente utilizadas, principalmente no setor de minérios, estão sendo incorporadas no setor agrícola. A fruticultura também tem se beneficiado devido a vários estudos em desenvolvimento com o intuito de tornar o setor competitivo tanto nacional como internacionalmente. As características físicas e químicas dos frutos de laranja podem sofrer alterações conforme as condições a que são expostas, desde o período de floração à colheita. Tais condições podem ser climáticas e relacionadas à posição que o fruto ocupa na copa da árvore. Embora a boa aparência dos frutos seja desejável, as características físicas e químicas são importantes tanto para o consumo *in natura* como para o processamento industrial. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi estudar a variabilidade espacial tridimensional das características físicas e químicas de frutos em pomar de laranjas, a partir da geração de mapas tridimensionais com o auxílio do software SGeMS. O experimento foi conduzido em pomar de laranjas da variedade Monte Parnaso, localizado no município de Nova Laranjeiras - PR, com altitude média de 760 m e coordenadas UTM centrais aproximadas de 7.191.655 m S e 341.660 m E,22J. Foram analisados 715 frutos de laranja provenientes de nove árvores, nos anos de 2011, 2012 e 2013. Os atributos físicos e químicos apresentaram correlação fraca quanto à posição que os mesmos ocupam na árvore, mas houve tendência de aumento de valores de atributos como o diâmetro, massa do fruto e a massa do suco à medida que aumentava a cota vertical dos frutos. Para o teor de SST, os maiores valores foram encontrados na área periférica da árvore e no terço apical; e para o teor de ATT, a mesma tende a diminuir com o aumento da cota vertical do fruto. A metodologia utilizada mostrou-se adequada para o estudo tridimensional de características físicas e químicas de frutos.

Palavras-chave: *Citrus Sinensis* (L.) Osbeck, fruticultura de precisão, variabilidade tridimensional.

THREE-DIMENSIONAL SPATIAL VARIABILITY OF CHEMICAL AND PHYSICAL ATTRIBUTES IN ORANGE FRUIT ORCHARD

ABSTRACT

The increase in production and yield as well as the correct use of agricultural inputs are essential factors to be taken into consideration when thinking about modern agriculture. Several techniques, previously used, mainly in the mining sector, have been incorporated to the agricultural sector with the precision agriculture management. The orcharding has also been improved by several studies under development in order to make such sector more competitive both nationally and internationally. The physical and chemical characteristics of orange fruits may change depending on the conditions to which they are exposed to, up from their blossoming period until harvest. Such conditions can be both climatic and related to the fruit position on the treetop. Although good fruit appearance is important, physical and chemical characteristics are as well, both for fresh consumption and industrial processing. Thus, this trial aimed at studying the three-dimensional spatial variability of physical and chemical characteristics of orange fruits in orchards, based on the generation of three-dimensional maps and the SGeMS software. The trial was carried out in an orchard with Monte Parnaso orange variety, in Nova Laranjeiras city, Paraná, whose average altitude is 760 m and UTM central coordinates are around 7191655 m S and 341660 m E, 22J. So, 715 orange fruits from nine trees were analyzed during 2011, 2012 and 2013. Physical and chemical parameters showed weak correlation according to their position on the tree, but there was a trend of increasing values concerning the following attributes: diameter, fruit weight and juice mass as the vertical position of the fruits increases. For TSS content, the highest values were observed in the peripheral area of the tree and in its apical third part; but, for TTA content, it tended to decrease with the increasing vertical position of fruit. At last, the applied methodology was appropriate for the three-dimensional study concerning physical and chemical characteristics of orange fruits.

Keywords: *Citrus Sinensis* (L.) Osbeck, precision orcharding, three-dimensional variability.

1 INTRODUÇÃO

A agricultura moderna torna-se, a cada dia, mais competitiva, tanto na questão de aumento da produção e da produtividade como na correta utilização dos insumos aplicados. Com o advento da Agricultura de Precisão (AP), faz-se necessário entender melhor como ocorre todo o processo de utilização desta ferramenta na prática. É fundamental conhecer o que é AP, como se aplica, onde se aplica e quais os custos de implantação, para que se possa utilizá-la racionalmente a fim de que sejam atingidos os objetivos de aumento da produtividade, aumento do lucro e diminuição dos impactos ambientais que a agricultura moderna impõe em sua utilização.

Mais recentemente, os conceitos de AP começaram a ser aplicados também na pecuária, horticultura, silvicultura, citricultura, dentre outras. O uso da AP nestes segmentos está associado ao fato de, além de prezar pelo aumento da produtividade, zelar pela qualidade do produto produzido.

No Brasil, a citricultura é de fundamental importância para a economia devido a sua expressiva participação na exportação de suco concentrado congelado de laranja (SCCL) e pela geração de empregos. A laranja é importante *commodity* agrícola do comércio mundial e um dos principais produtos da pauta de exportações do agronegócio brasileiro. O balanço das exportações brasileiras de frutas em 2013 reflete a recuperação econômica dos países compradores, principalmente a União Européia (70%) e nos EUA (15%). Conforme dados da Secretaria de Comércio Exterior (SECEX, 2013), órgão do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, o Brasil exportou de janeiro a julho de 2013 a quantidade de 1,2 milhões de toneladas de suco concentrado congelado de laranja, cujo aumento foi de 13,6% em relação ao mesmo período de 2012. Esta quantidade exportada foi equivalente a US\$ 1,31 bilhões, com redução de 2,4% em relação a 2012.

A busca por novas tecnologias de produção é justificada pela necessidade de viabilizar e manter o produtor rural no campo; proporcionar condições de competitividade no mercado bem como buscar a sustentabilidade da cadeia produtiva de citros aliada à preservação do meio ambiente envolvido. Molin (2007) afirmou que a ausência de técnicas para a geração de mapas de produtividade em citros era uma das grandes dificuldades para a implantação da AP, e isso justificava empreender técnicas e equipamentos para tal finalidade.

A fruticultura de precisão, devido principalmente aos poucos estudos realizados, encontra-se em uma fase que é tecnicamente capaz e possível a aquisição de grandes quantidades de dados (mapas de nutrientes do solo, produtividade, condutividade elétrica do solo, resistência do solo à penetração, etc.), mas ainda não se encontra suficientemente habilitada para convergir em tomadas de decisões tecnicamente validadas. Atualmente a colheita semi mecanizada é utilizada em pomares mais tecnificados no estado de São

Paulo, visando à diminuição dos custos de colheita, pois proporciona condições de mapeamento da produtividade local.

A heterogeneidade das propriedades físicas e químicas de frutos é um fator relevante a ser considerado em estudos no segmento de fruticultura. Neste contexto, duas categorias podem ser definidas para a classificação da heterogeneidade dos frutos. A primeira é aquela que se manifesta no pomar dentro de certa distância (alcance) entre árvores. A segunda se manifesta na própria árvore, ou seja, considera a posição de cada fruto na mesma árvore. Torna-se então importante quantificar as propriedades dos frutos considerando a variabilidade espacial tridimensional dos mesmos. Usualmente, para a determinação da variabilidade espacial, são atribuídos valores numéricos para zonas ou locais quando se considera o âmbito bidimensional (plano xy), ignoram-se os valores de variabilidade na coordenada z (espaço).

As características climáticas locais também podem influenciar no crescimento e na qualidade do fruto e a posição do fruto na planta é variável importante, pois pode resultar em diferenças qualitativas e quantitativas nos mesmos. A radiação solar incidente, os níveis de fertilidade do solo e os índices pluviométricos também podem contribuir para a heterogeneidade das propriedades químicas e físicas dos frutos.

Para tal, o conhecimento e a exploração das ferramentas de interação entre geoestatística tridimensional e Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) auxiliam no exame detalhado da variabilidade espacial tridimensional dos atributos físicos e químicos dos frutos de citros.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

- Modelar a variabilidade espacial tridimensional de atributos físicos e químicos de frutos em pomar de laranjas.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar a variabilidade espacial tridimensional dos atributos físicos e químicos de laranjas;
- Verificar a correlação dos atributos físicos e químicos dos frutos de laranjeira com a posição tridimensional dos frutos;
- Propor metodologia para geração de mapas temáticos tridimensionais em pomares, e
- Criar mapas temáticos tridimensionais dos atributos físicos e químicos de frutos.

SUMÁRIO

VARIABILIDADE ESPACIAL TRIDIMENSIONAL DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DE FRUTOS EM POMAR DE LARANJAS.....	v
RESUMO	v
ABSTRACT	vi
1 INTRODUÇÃO.....	vii
2 OBJETIVOS.....	ix
2.1 Objetivo geral.....	ix
2.2 Objetivos específicos	ix
LISTA DE TABELAS.....	xiii
LISTA DE FIGURAS	xv
CAPÍTULO I.....	1
VARIABILIDADE ESPACIAL TRIDIMENSIONAL DE CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE FRUTOS EM POMAR DE LARANJAS.....	1
RESUMO	1
ABSTRACT	2
I.1 Introdução.....	3
I.2 OBJETIVOS.....	5
I.2.1 Objetivo geral	5
I.2.2 Objetivos específicos	5
I.3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	6
I.3.1 Agricultura de precisão na fruticultura	6
I.3.2 Condições climáticas e posição do fruto na planta	7
I.3.3. Visualização de volumes.....	9
I.3.4 Interpolação espacial de dados.....	10
I.3.5 Geoestatística	13
I.3.6 Geoestatística tridimensional	20
I.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	22
I.4.1 Caracterização da área de estudo e cultura	22
I.4.2 Amostragem e delineamento experimental	23
I.4.3 Colheita dos frutos	24
I.4.4 Análise do solo.....	25
I.4.5 Análise laboratorial.....	25
I.4.6 Posição tridimensional do frutos.....	26
I.4.7 Análise estatística	27
I.4.8 Análise geoestatística	28
I.4.9 Geração de mapas temáticos tridimensionais	29
I.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	37

1.5.1 Condições climáticas	37
1.5.2 Análise estatística das propriedades químicas do solo	40
1.5.3 Análise estatística das propriedades físicas dos frutos	43
1.5.4 Análise de correlação.....	46
1.5.5 Análise geoestatística	47
1.5.6 Mapas temáticos bidimensionais.....	49
1.5.7 Mapas temáticos tridimensionais	57
1.5.8 Modelo geral do pomar	69
1.6 CONCLUSÕES.....	74
1.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
CAPÍTULO II.....	81
VARIABILIDADE ESPACIAL TRIDIMENSIONAL DOS PARÂMETROS QUÍMICOS DOS FRUTOS EM POMAR DE LARANJAS.....	81
RESUMO	81
ABSTRACT	82
II.1 Introdução.....	83
II.2 OBJETIVOS.....	84
II.2.1 Objetivo geral.....	84
II.2.2 Objetivos específicos	84
II.3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	85
II.3.1 Características botânicas das laranjeiras	85
II.3.2 Laranjeira Monte Parnaso	86
II.3.3 A citricultura no Brasil	87
II.3.4 Características físico-químicas de citros	90
II.3.5 Fruticultura de precisão.....	92
II.3.6 Variabilidade espacial tridimensional das características de frutos	93
II.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	94
II.4.1 Caracterização da área de estudo e cultura	94
II.4.2 Amostragem de dados	94
II.4.3 Colheita dos frutos	94
II.4.4 Análise do solo.....	95
II.4.5 Análise laboratorial.....	95
II.4.5.1 Sólidos solúveis totais (SST).....	95
II.4.5.2 Acidez total titulável (ATT)	95
II.4.5.3 Relação SST / ATT (<i>ratio</i>).....	95
II.4.5.4 Ácido ascórbico(AA)	96
II.4.6 Análise estatística e geoestatística	96
II.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	97
II.5.1 Condições climáticas e características químicas do solo	97
II.5.2 Análise estatística das propriedades químicas dos frutos	97
II.5.3 Análise de correlação.....	100
II.5.4 Análise geoestatística	102

II.5.5 Mapas temáticos bidimensionais.....	103
II.5.6 Mapas temáticos tridimensionais	108
II.5.7 Modelo geral do pomar	121
II.6 CONCLUSÕES.....	126
II.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	127
CONSIDERAÇÕES FINAIS	132

LISTA DE TABELAS

Tabela 01	Níveis de interpretação para o coeficiente linear de Pearson	27
Tabela 02	Parâmetros de definição de grid tridimensional para nove árvores de laranja.Nova Laranjeiras, PR	35
Tabela 03	Estatísticas descritivas dos atributos químicos do solo, relativas ao triênio (2011, 2012 e 2013), na profundidade de 0-40 cm em pomar de laranjas. Nova Laranjeiras, PR.....	40
Tabela 04	Níveis de interpretação dos atributos químicos do solo e a quantidade percentual encontrada em cada nível em pomar de laranjas, no triênio (2011 a 2013), Nova Laranjeiras, PR.....	41
Tabela 05	Estatísticas descritivas dos atributos físicos em pomar de laranjas, no triênio 2011, 2012 e 2013, Nova Laranjeiras, PR.....	44
Tabela 06	Valores médios dos atributos físicos de frutos, com relação às suas posições nos terços em pomar de laranjas, no triênio 2011, 2012 e 2013, Nova Laranjeiras, PR.....	45
Tabela 07	Correlação linear de Pearson para as coordenadas geográficas das árvores, dos atributos físicos dos frutos e dos atributos químicos do solo em pomar de laranjas, Nova Laranjeiras, PR.....	46
Tabela 08	Correlação linear de Pearson das posições tridimensionais de frutos e respectivos atributos físicos, de nove laranjeiras no triênio 2011, 2012 e 2013, Nova Laranjeiras, PR.....	47
Tabela 09	Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais dos atributos físicos de frutos em nove laranjeiras, Nova Laranjeiras, PR.....	48
Tabela 10	Médias de valores dos atributos físicos com relação à posição dos frutos nos terços de nove árvores em pomar de laranjeiras, no triênio 2011, 2012 e 2013, Nova Laranjeiras, PR.....	69
Tabela 11	Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais dos atributos físicos de frutos em pomar de laranjas, Nova Laranjeiras, PR.	70
Tabela 12	Características do fruto que definem o ponto de colheita	91
Tabela 13	Estatísticas descritivas dos atributos químicos em pomar de laranjas, no triênio 2011, 2012 e 2013, Nova Laranjeiras, PR.....	98
Tabela 14	Valores médios dos atributos químicos de frutos, com relação às suas posições nos terços em pomar de laranjas, no triênio 2011, 2012 e 2013, Nova Laranjeiras, PR.....	99
Tabela 15	Correlação linear de Pearson para as coordenadas geográficas das árvores, dos atributos químicos dos frutos e dos atributos químicos do solo em pomar de laranjas no triênio 2011, 2012 e 2013, Nova Laranjeiras, PR.....	100
Tabela 16	Correlação linear de Pearson das posições tridimensionais de frutos e respectivos atributos químicos, de nove laranjeiras no triênio 2011, 2012 e 2013, Nova Laranjeiras, PR.....	101
Tabela 17	Correlação linear de Pearson dos atributos físicos e químicos de frutos de nove laranjeiras no triênio 2011, 2012 e 2013, Nova Laranjeiras, PR.....	102
Tabela 18	Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais dos atributos químicos de frutos em nove laranjeiras, Nova Laranjeiras, PR.....	103
Tabela 19	Médias de valores dos atributos químicos com relação à posição dos frutos nos terços de nove árvores em pomar de laranjeiras, no triênio 2011, 2012	

	e 2013, Nova Laranjeiras, PR.....	121
Tabela 20	Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais dos atributos químicos de frutos em pomar de laranjas, Nova Laranjeiras, PR.	122

LISTA DE FIGURAS

Figura 01	Posição do fruto na planta.	8
Figura 02	Processo de visualização de volumes.	9
Figura 03	Representação espacial de um voxel.	10
Figura 04	Esquema dos fenômenos espaciais: (a) isotrópico e (b) anisotrópico.	14
Figura 05	Funções covariância $C(h)$ e semivariograma γh , com alcance a	15
Figura 06	Esquema da pesquisa de pares para cálculo de semivariograma experimental (a) o dispositivo é centrado no ponto 1; (b) move-se o dispositivo para o ponto 2.	15
Figura 07	Propriedades de um semivariograma com patamar.	16
Figura 08	Esquema do processo de estimativa geoestatística.	17
Figura 09	Conceito de conversão de dados integrando SIG e métodos geoestatísticos 3D.	20
Figura 10	Localização do município de Nova Laranjeiras - PR e da área experimental.	22
Figura 11	Localização das laranjeiras no pomar.	23
Figura 12	Identificação dos frutos com etiqueta (a) e frutos de laranja 'Monte Parnaso' (b).	24
Figura 13	Diagrama das variáveis determinadas para análise de dados.	24
Figura 14	Ilustração do posicionamento inicial da estação total para coleta de coordenadas dos frutos.	26
Figura 15	Metodologia de projeção de dados em abordagens bidimensionais. a) Dados disponíveis no espaço tridimensional, b) Projeção dos dados no plano bidimensional, c) Perda dos valores da coordenada z.	29
Figura 16	Representação de grid tridimensional.	31
Figura 17	Modelo de arquivo de texto (.txt) utilizado na realização das análises físicas dos frutos.	31
Figura 18	Exemplo de ficheiro de parâmetros de estimação utilizados pelo software.	32
Figura 19	Página principal (interface) do SGeMS.	32
Figura 20	Painel de algoritmos disponíveis no SGeMS.	33
Figura 21	Menu de entrada de conjunto de dados.	33
Figura 22	Página de entrada de parâmetros de cálculo para geração dos semivariogramas.	34
Figura 23	Visualização de grid tridimensional dos pontos.	35
Figura 24	Semivariogramas direcionais em 0, 45, 90 e 135° graus.	36
Figura 25	Mapa tridimensional e cortes no eixo z, gerados pelo software SGeMS (REMY et al. 2009).	36
Figura 26	Gráfico da umidade relativa média (%), da precipitação acumulada (mm) e da radiação solar ($W m^{-2}$) em pomar de laranjas. Nova Laranjeiras, PR. F - início da floração, C - colheita dos frutos.	37
Figura 27	Gráfico da temperatura máxima absoluta (°C) e temperatura mínima absoluta (°C) em pomar de laranjas, Nova Laranjeiras, PR. F - início da floração, C - colheita dos frutos.	38

Figura 28	Gráfico da predominância dos ventos em % (a). Direções predominantes dos ventos (b) no período de outubro de 2010 a maio de 2013 em pomar de laranjas, Nova Laranjeiras, PR.	38
Figura 29	Gráfico da radiação solar instantânea relativa aos quadrantes (NE, SE, SO e NO) das árvores nos anos de 2011, 2012 e 2013 em pomar de laranjas. Nova Laranjeiras, PR.....	39
Figura 30	Ilustração do movimento diário do sol nas diversas estações do ano para a latitude de 25,5° S (a). Mapa planialtimétrico do pomar de laranjas (b), Nova Laranjeiras, PR.....	39
Figura 31	Mapas temáticos referentes aos teores de cobre (a), zinco (b), ferro (c) e Manganês (d) em pomar de laranjas, no triênio 2011, 2012 e 2013. Nova Laranjeiras, PR.....	49
Figura 32	Mapas temáticos referentes aos teores de fósforo (a), carbono (b), pH (c), cálcio (d), magnésio (e) e potássio (f) em pomar de laranjas, no triênio 2011, 2012 e 2013, Nova Laranjeiras, PR.	51
Figura 33	Mapas temáticos referentes aos atributos físicos diâmetro (a), massa do fruto (b), massa do suco (c) e rendimento de suco (d) em pomar de laranjas, no triênio 2011, 2012 e 2013, Nova Laranjeiras, PR.	52
Figura 34	Mapas bidimensionais referentes à distribuição espacial da média normalizada do diâmetro de frutos em pomar de laranjas, no triênio 2011, 2012 e 2013, Nova Laranjeiras, PR.	53
Figura 35	Mapas bidimensionais referentes à distribuição espacial da média normalizada da massa de frutos em pomar de laranjas, no triênio 2011, 2012 e 2013, Nova Laranjeiras, PR.	54
Figura 36	Mapas bidimensionais referentes à distribuição espacial da média normalizada da massa de suco de frutos em pomar de laranjas, no triênio 2011, 2012 e 2013, Nova Laranjeiras, PR.	55
Figura 37	Mapas bidimensionais referentes à distribuição espacial da média normalizada do rendimento de suco de frutos em pomar de laranjas, no triênio 2011, 2012 e 2013, Nova Laranjeiras, PR.....	56
Figura 38	Mapas tridimensionais referentes à distribuição espacial da média normalizada do diâmetro (D) de frutos em pomar de laranjas, nas árvores A, B e C, no triênio 2011, 2012 e 2013, Nova Laranjeiras, PR.....	57
Figura 39	Mapas tridimensionais referentes à distribuição espacial da média normalizada do diâmetro (D) de frutos em pomar de laranjas, nas árvores D, E e F, no triênio 2011, 2012 e 2013, Nova Laranjeiras, PR.....	58
Figura 40	Mapas tridimensionais referentes à distribuição espacial da média normalizada do diâmetro (D) de frutos em pomar de laranjas, nas árvores G, H e I, no triênio 2011, 2012 e 2013, Nova Laranjeiras, PR.....	59
Figura 41	Mapas tridimensionais referentes à distribuição espacial da média normalizada da massa do fruto (MF) de frutos em pomar de laranjas, nas árvores A, B e C, no triênio 2011, 2012 e 2013, Nova Laranjeiras, PR.....	60
Figura 42	Mapas tridimensionais referentes à distribuição espacial da média normalizada da massa do fruto (MF) de frutos em pomar de laranjas, nas árvores D, E e F, no triênio 2011, 2012 e 2013, Nova Laranjeiras, PR.	61
Figura 43	Mapas tridimensionais referentes à distribuição espacial da média normalizada da massa do fruto (MF) de frutos em pomar de laranjas, nas árvores G, H e I, no triênio 2011, 2012 e 2013, Nova Laranjeiras, PR.....	62
Figura 44	Mapas tridimensionais referentes à distribuição espacial da média	

	normalizada da massa do suco (MS) de frutos em pomar de laranjas, nas árvores A, B e C, no triênio 2011, 2012 e 2013, Nova Laranjeiras, PR.	63
Figura 45	Mapas tridimensionais referentes à distribuição espacial da média normalizada da massa do suco (MS) de frutos em pomar de laranjas, nas árvores D, E e F, no triênio 2011, 2012 e 2013, Nova Laranjeiras, PR.	64
Figura 46	Mapas tridimensionais referentes à distribuição espacial da média normalizada da massa do suco (MS) de frutos em pomar de laranjas, nas árvores G, H e I, no triênio 2011, 2012 e 2013, Nova Laranjeiras, PR.	65
Figura 47	Mapas tridimensionais referentes à distribuição espacial da média normalizada do rendimento do suco (RS) de frutos em pomar de laranjas, nas árvores A, B e C, no triênio 2011, 2012 e 2013, Nova Laranjeiras, PR.	66
Figura 48	Mapas tridimensionais referentes à distribuição espacial da média normalizada do rendimento do suco (RS) de frutos em pomar de laranjas, nas árvores D, E e F, no triênio 2011, 2012 e 2013, Nova Laranjeiras, PR.	67
Figura 49	Mapas tridimensionais referentes à distribuição espacial da média normalizada do rendimento do suco (RS) de frutos em pomar de laranjas, nas árvores G, H e I, no triênio 2011, 2012 e 2013, Nova Laranjeiras, PR.	68
Figura 50	Mapas bidimensionais referentes à distribuição espacial da média normalizada dos atributos físicos de frutos em pomar de laranjas, no triênio 2011, 2012 e 2013, Nova Laranjeiras, PR.	71
Figura 51	Grid tridimensional com posição de 715 frutos de laranja (a) e respectivo plano xy (b).	71
Figura 52	Mapas tridimensionais referentes aos atributos físicos e em cortes no eixo z, de nove árvores sobrepostas, em pomar de laranjas, triênio 2011, 2012 e 2013, Nova Laranjeiras, PR.	72
Figura 53	Exportações brasileiras referentes ao complexo de frutas cítricas, anos 2000-2009.	88
Figura 54	Diagrama das variáveis determinadas para análise de dados.	94
Figura 55	Mapas temáticos referentes aos atributos químicos de frutos (SST, ATT, <i>ratio</i> , AA), em pomar de laranjas, no triênio 2011, 2012 e 2013, Nova Laranjeiras, PR.	104
Figura 56	Mapas temáticos bidimensionais referentes à distribuição espacial da média normalizada quanto aos teores de sólidos solúveis totais (SST) de frutos em pomar de laranjas, no triênio 2011, 2012 e 2013, Nova Laranjeiras, PR.	105
Figura 57	Mapas temáticos bidimensionais referentes à distribuição espacial da média normalizada quanto ao teor de acidez total titulável (ATT) de frutos em pomar de laranjas, no triênio 2011, 2012 e 2013, Nova Laranjeiras, PR.	106
Figura 58	Mapas temáticos bidimensionais referentes à distribuição espacial do <i>ratio</i> (SST/ATT) de frutos em pomar de laranjas, no triênio 2011, 2012 e 2013, Nova Laranjeiras, PR.	107
Figura 59	Mapas temáticos bidimensionais referentes à distribuição espacial da média normalizada do teor de ácido ascórbico (AA) de frutos em pomar de laranjas, no triênio 2011, 2012 e 2013, Nova Laranjeiras, PR.	108
Figura 60	Mapas tridimensionais referentes à distribuição espacial da média normalizada do teor de sólidos solúveis totais (SST) de frutos em pomar de laranjas, nas árvores A, B e C, no triênio 2011 a 2013, Nova Laranjeiras, PR.	109

Figura 61	Mapas tridimensionais referentes à distribuição espacial da média normalizada do teor de sólidos solúveis totais (SST) de frutos em pomar de laranjas, nas árvores D, E e F, no triênio 2011 a 2013, Nova Laranjeiras, PR.	110
Figura 62	Mapas tridimensionais referentes à distribuição espacial da média normalizada do teor de sólidos solúveis totais (SST) de frutos em pomar de laranjas, nas árvores G, H e I, no triênio 2011 a 2013, Nova Laranjeiras, PR.	111
Figura 63	Mapas tridimensionais referentes à distribuição espacial da média normalizada do teor de acidez total titulável (ATT) de frutos em pomar de laranjas, nas árvores A, B e C, no triênio 2011 a 2013, Nova Laranjeiras, PR.	112
Figura 64	Mapas tridimensionais referentes à distribuição espacial da média normalizada do teor de acidez total titulável (ATT) de frutos em pomar de laranjas, nas árvores D, E e F, no triênio 2011 a 2013, Nova Laranjeiras, PR.	113
Figura 65	Mapas tridimensionais referentes à distribuição espacial da média normalizada do teor de acidez total titulável (ATT) de frutos em pomar de laranjas, nas árvores D, E e F, no triênio 2011 a 2013, Nova Laranjeiras, PR.	114
Figura 66	Mapas tridimensionais referentes à distribuição espacial da média normalizada do <i>ratio</i> em pomar de laranjas, nas árvores A, B e C, no triênio 2011 a 2013, Nova Laranjeiras, PR.	115
Figura 67	Mapas tridimensionais referentes à distribuição espacial da média normalizada do <i>ratio</i> em pomar de laranjas, nas árvores D, E e F, no triênio 2011 a 2013, Nova Laranjeiras, PR.	116
Figura 68	Mapas tridimensionais referentes à distribuição espacial da média normalizada do <i>ratio</i> em pomar de laranjas, nas árvores G, H e I, no triênio 2011 a 2013, Nova Laranjeiras, PR.	117
Figura 69	Mapas tridimensionais referentes à distribuição espacial da média normalizada do teor de AA em pomar de laranjas, nas árvores A, B e C, no triênio 2011 a 2013, Nova Laranjeiras, PR.	118
Figura 70	Mapas tridimensionais referentes à distribuição espacial da média normalizada do teor de AA em pomar de laranjas, nas árvores D, E e F, no triênio 2011 a 2013, Nova Laranjeiras, PR.	119
Figura 71	Mapas tridimensionais referentes à distribuição espacial da média normalizada do teor de AA em pomar de laranjas, nas árvores G, H e I, no triênio 2011 a 2013, Nova Laranjeiras, PR.	120
Figura 72	Mapas bidimensionais referentes à distribuição espacial da média normalizada dos atributos químicos de frutos em pomar de laranjas, no triênio 2011, 2012 e 2013, Nova Laranjeiras, PR.	122
Figura 73	Grid tridimensional com posição de 715 frutos de laranja (a) e respectivo plano bidimensional (b).	123
Figura 74	Mapas tridimensionais referentes aos atributos químicos e em cortes no eixo z, considerando nove árvores sobrepostas, em pomar de laranjas, triênio 2011, 2012 e 2013, Nova Laranjeiras, PR.	124

CAPÍTULO I

VARIABILIDADE ESPACIAL TRIDIMENSIONAL DE CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE FRUTOS EM POMAR DE LARANJAS

RESUMO

A necessidade da busca por novos sistemas de produção, cultivo ou condução de culturas leva ao estudo de novas estratégias de produção agrícola, no intuito de aumentar a produtividade sem aumento de área cultivada, a fim de viabilizar a permanência do produtor no segmento. A qualidade dos frutos é avaliada por suas características físicas e químicas que variam durante o período de maturação e tais variações dependem, dentre outros fatores, das condições do ambiente durante o ciclo da cultura. A visualização tridimensional das propriedades físicas dos frutos permite reconhecer a distribuição espacial desses, a partir de volumes. O conhecimento e a exploração das ferramentas de interação entre geoestatística tridimensional e sistemas de informação geográfica (SIGs) auxiliam no exame detalhado dessas propriedades. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi modelar a variabilidade espacial tridimensional dos atributos físicos de frutos em pomar de laranjas da variedade Monte Parnaso localizado no município de Nova Laranjeiras - PR, com altitude média de 760 m e coordenadas UTM centrais aproximadas de 7.191.655 m S e 341.660 m E, 22J. Foram analisados atributos físicos (diâmetro, massa do fruto, massa do suco e rendimento do suco) de 715 frutos, provenientes de nove árvores nos anos de 2011, 2012 e 2013. As análises permitiram concluir que os atributos físicos apresentaram fraca correlação com relação à posição que os mesmos ocupam na copa da árvore, porém, existe tendência do aumento nos valores do diâmetro, massa do suco e massa do fruto à medida que aumenta a cota vertical do fruto. O rendimento do suco apresentou maiores valores na região sul da árvore, onde recebeu menor incidência de radiação solar e também apresentou forte correlação negativa com o teor de zinco no solo. A metodologia utilizada mostrou-se adequada para o estudo tridimensional de características físicas de frutos.

Palavras-chave: fruticultura de precisão, geoestatística tridimensional, mapas temáticos.

THREE-DIMENSIONAL SPATIAL VARIABILITY OF ORANGE FRUIT PHYSICAL CHARACTERISTICS IN AN ORCHARD

ABSTRACT

There is a major need to obtain new systems of production, cropping or crop management, consequently, so, the study of new strategies of agricultural production aims at increasing yield without the cropping area enlargement in order to enable the producer to remain in such area. Fruit quality is evaluated by its physical and chemical characteristics that vary during ripeness period. Such changes depend, among other factors, on the environmental conditions during the crop cycle. A three-dimensional viewing of physical fruits properties allows recognizing their spatial distribution by volume. Knowledge and exploitation of tools interaction among three-dimensional geostatistics and geographic information systems (GIS) have supported a detailed examination of such properties. Thus, this trial aimed at modeling a three-dimensional spatial variability concerning fruit physical parameters in an orchard cropped with Monte Parnaso variety oranges, in Nova Laranjeiras, PR, with 760m average altitude, whose UTM central coordinates are approximately 7,191.655 m S and 341,660 m E, 22J. The physical analyzed attributes were diameter, fruit weight, juice mass and juice efficiency in 715 fruits from nine trees in 2011, 2012 and 2013. The studied analyses recorded that those physical attributes showed weak correlation based on the position they were on the treetop, but there is a trend to increase values of parameters such as diameter, juice mass and fruit weight as the vertical position of the fruit increases. The juice efficiency showed the highest answers in the southern part of the tree, where there was the lowest solar radiation incidence and showed also a strong negative correlation with zinc content in soil. The applied methodology was available to study the three-dimensional physical characteristics of fruits.

Keywords: Precision orcharding, three-dimensional geostatistics, thematic maps.

I.1 INTRODUÇÃO

As características dos citros, sejam físicas ou químicas, para consumo ao natural ou para processamento industrial, são de fundamental importância para boa aceitação no mercado. Tais características podem ser tamanho, peso, cor, sabor, valor nutricional, textura, aroma e rendimento de suco, dependendo do segmento ao qual tais frutos serão destinados. O aumento de renda da população, a conveniência, a praticidade bem como a divulgação de benefícios à saúde estão ampliando significativamente o consumo de sucos de frutas, principalmente dos produtos prontos para beber.

A necessidade de buscar novos sistemas de produção, cultivo ou condução de citros leva ao estudo de novas estratégias de produção, no intuito de aumentar a produtividade, a fim de viabilizar a permanência do produtor no segmento. Para tal, é necessária evolução técnica e tecnológica por parte de produtores e profissionais visando maior conhecimento das condições de campo da cultura e da variabilidade espacial das características físicas e químicas do produto.

A importância da citricultura para a economia brasileira deve-se à sua grande participação nas exportações de suco concentrado congelado de laranja (SCCL) e como consequência, a geração de um grande número de empregos diretos e indiretos. Contudo, a produção de citros para consumo *in natura* ainda apresenta muitas deficiências quanto à qualidade dos frutos. Um fator de grande importância econômica é o ponto ideal de colheita, indicado pela maturação em conjunto com determinadas características dos frutos.

A qualidade dos frutos é avaliada por suas características físicas e químicas que variam durante o período de maturação e tais variações dependem, dentre outros fatores, das condições do ambiente durante o ciclo da cultura. Dentre as principais características físicas, destacam-se o tamanho e a massa dos frutos (DONADIO et al., 1995).

O tamanho do fruto de cada espécie de citros é determinado por fatores genéticos e pela idade da árvore e podem ser considerados desde muito grande (toranjas) a frutos considerados muito pequenos (calamondin). O tamanho e a quantidade de frutos estão relacionados de forma distinta, pois quanto maior o número de frutos na árvore, geralmente, menores serão os frutos, devido à competição natural por nutrientes e luminosidade.

As características climáticas locais influenciam no crescimento e na qualidade do fruto e uma importante variável é a posição do fruto na planta, que pode resultar em diferenças qualitativas nos mesmos. A radiação solar incidente, os níveis de fertilidade do solo e os índices pluviométricos também podem contribuir para a heterogeneidade das propriedades físicas dos frutos.

A visualização tridimensional das propriedades físicas dos frutos, por intermédio da interpolação tridimensional, permite reconhecer a distribuição espacial dos atributos a partir de volumes. Como exemplo, dois frutos podem estar na mesma árvore, receber o mesmo

tratamento de adubação e fitossanidade, porém as características de cada fruto podem ser diferentes. Diante disso, o conhecimento e a exploração das ferramentas de interação entre geoestatística tridimensional e sistemas de informação geográfica (SIGs) auxiliam no exame detalhado de características específicas dessas propriedades.

I.2 OBJETIVOS

I.2.1 Objetivo geral

- Modelar a variabilidade espacial tridimensional dos atributos físicos de frutos em pomar de laranjas.

I.2.2 Objetivos específicos

- Avaliar a variabilidade espacial tridimensional dos atributos físicos de frutos em pomar de laranjas por um período de 03 anos;
- Verificar a correlação dos atributos físicos com a posição tridimensional dos frutos;
- Expor metodologia para geração de mapas temáticos tridimensionais em pomares, e,
- Gerar mapas temáticos tridimensionais referentes aos atributos físicos dos frutos em pomares e estratificados em relação aos terços na árvore.

I.3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

I.3.1 Agricultura de precisão na fruticultura

A prática do que se convencionou chamar de agricultura de precisão (AP) não é algo recente. Tentativas de dividir a lavoura em parcelas e tratá-las diferenciadamente já foram propostas e testadas. Porém, mais antigo do que esse conceito tem sido a prática do tratamento localizado, no qual os pequenos agricultores sempre deram às suas lavouras. Com base no conhecimento e condições de cada pequeno talhão da lavoura, esses agricultores vêm praticando AP, embora com pouco uso de tecnologia. A AP tem como principal conceito aplicar no local correto, no momento adequado, as quantidades de insumos necessários à produção agrícola, para áreas cada vez menores e mais homogêneas, tanto quanto a tecnologia e os custos envolvidos o permitam (MOLIN, 2008).

AAP permite identificar a variabilidade existente na área e a partir disto investigar fatores limitantes (físicos, químicos e biológicos) bem como propor alternativas de manejo diferenciadas de acordo com a necessidade de cada área. Com base nesta variabilidade, podem-se prescrever interferências de manejo visando corrigir aqueles atributos que estão comprometendo o rendimento. Assim, permitem-se a elevação do potencial produtivo (DELLAMEA et al., 2007), o aprimoramento do uso dos recursos e a redução do impacto da agricultura no meio ambiente (BERNARDI et al., 2008).

O conhecimento da variabilidade espacial da produtividade e das propriedades físicas do solo bem como o estudo da variabilidade temporal, quando devidamente disponibilizado aos produtores que adotam a técnica de AP, podem viabilizar uma agricultura moderna, economicamente competitiva e ecologicamente correta (MERCANTE et al., 2003).

Informações sobre variabilidade espacial são importantes para que o agricultor conheça sua área de plantio e avalie por meio do mapa de rentabilidade se, eventualmente, outra cultura agrícola não teria rentabilidade maior por área. Através da geração de mapas temáticos e ao se utilizarem técnicas geoestatísticas, é possível avaliar produtividade, rentabilidade e perdas (manual e mecânica) na colheita de cereais (JOHANN et al., 2010).

Além da cultura de grãos, os conceitos da AP também são aplicados no cultivo da cana-de-açúcar, café, algodão, fruticultura, silvicultura, dentre outras. Na fruticultura, trabalhos vêm sendo realizados utilizando-se das técnicas da AP, por exemplo, a análise da variabilidade espacial de macro e micronutrientes do solo, a partir da análise foliar em pomar de citros manejado com irrigação localizada (ARMINDO et al. 2008), a determinação do tamanho de amostra para estimar a população em citros (LOPES et al., 2007), a estimativa do número total de frutos em pomares em função da coleta de amostras (TRIBONI e

BARBOSA, 2004), variabilidade espacial dos teores de sólidos solúveis totais em frutos de laranja (GASPARIN et al., 2011), variabilidade espacial dos atributos do solo e planta com a produtividade de pereiras (KONOPATZKI et al., 2012), análise do relevo e a variabilidade do solo e atributos de laranja (SIQUEIRA et al. 2010; NICOLAU, et al. 2012), dentre outros.

Tecnologias utilizadas na AP são difundidas também na citricultura, como o uso de piloto automático RTK (Real Time Kinematic) na abertura de sulcos (OLIVEIRA e MOLIN, 2011) e o uso de imagens de satélite de alta resolução na estimativa do número e tamanho da copa de laranjeiras (CAMARGO NETO e MIRANDA, 2009).

O estudo da variabilidade espacial dos atributos da planta e do solo de uma lavoura ou pomar é fator primordial no uso da AP. O uso da validação cruzada para avaliar o comportamento espacial dos macronutrientes nitrogênio (N), potássio (K) e cálcio (Ca) nas folhas das árvores e a concentração de sólidos solúveis totais (°Brix) no suco da laranja foram considerados eficientes na escolha do melhor modelo de semivariograma (SUSZEK et al., 2009).

Baixos teores de Mg, Ca, P, K e V% (% de saturação por bases) encontrados na camada de 0 a 20 cm de solo ARGISSOLO Vermelho Amarelo não influenciaram no teor de sólidos solúveis totais nem na produtividade da laranja valência (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck (TREVISAN, 2008). E, de acordo com FARIAS et al. (2003), quando se aplica a geoestatística em pomares de citros, a produtividade não foi influenciada pelo tamanho do fruto, mas sim pelo número de frutos por plantas.

1.3.2 Condições climáticas e posição do fruto na planta

As características físicas e químicas dos frutos variam durante o período de maturação, e, essa variação depende, dentre outros fatores, das condições meteorológicas durante a formação e maturação dos frutos. As características climáticas e exposição da planta e frutos à insolação podem influenciar no crescimento e qualidade do fruto (ALBRIGO, 1992) e o efeito da posição do fruto na planta (Figura 01) é uma importante variável relacionada ao clima, a qual pode resultar em diferenças qualitativas e quantitativas nos mesmos, em função das posições nos terços da planta.

A quantidade de luz interceptada pela fruta está em função da posição da fruta na copa. O tamanho das árvores, espaçamento, orientação da fileira, forma da copa e tipo de sistema de plantio adotado influenciam na distribuição da luz no interior das plantas (DETONI et al., 2009).

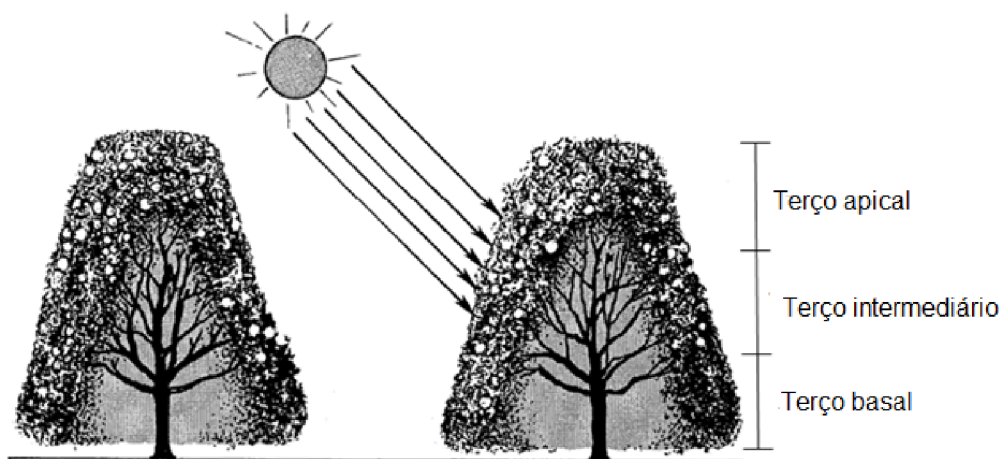


Figura 01 Posição do fruto na planta.
 Fonte: adaptado de TUCKER et al. (1991).

O aumento da concentração de açúcares ocorre durante toda a fase de crescimento e maturação dos frutos e está diretamente relacionado à intensidade do processo fotossintético e, por sua vez, à temperatura e à intensidade de luz (MARCHI, 1993). Sites e Reitz (1950) relataram que frutos de laranja da variedade Valência com crescimento em pleno sol apresentaram maior teor de vitamina C do que os frutos que estavam sombreados.

Segundo Volpe et al. (2002), a temperatura do ar, representada por graus-dia foi a variável que exerceu maior efeito na taxa de maturação dos frutos da 1ª florada de variedades de laranjas de maturação tardia, Natal e Valência durante 4 anos estudados. Além disso, quando as características físicas e químicas de frutos de tangerina Ponkan foram avaliadas e os frutos colhidos em duas faces da planta, um de maior incidência solar (leste-oeste) e outro de menor incidência solar (norte-sul), no estado do Paraná, Detoni et al. (2009) concluíram que os frutos desenvolvidos no direção leste-oeste apresentaram maior massa e diâmetro longitudinal quando comparados aos frutos posicionados na direção norte-sul.

Em trabalho com laranjas da variedade Tarocco, Agabbio et al. (1999) concluíram que não houve diferença significativa na massa dos frutos em relação às regiões norte, sul e interior da copa da laranjeira, mas frutas colhidas na região externa sul da árvore tiveram maior concentração de sólidos solúveis totais (SST). Já Sites e Reitz (1949) citam que laranjas da variedade Valência, quando expostas ao sol, apresentaram casca mais fina e frutos mais leves, quando comparados aos frutos sombreados localizados no interior da copa das laranjeiras.

Segundo Cruz et al. (2010), a resposta distinta quanto ao desenvolvimento das frutas ocorre em função dos índices de radiação e luminosidade que podem assumir comportamento diferenciado, de acordo com os diferentes pontos cardeais. Entretanto, é difícil avaliara quantidade de energia radiante incidente sobre as plantas, em função da complexidade na interação dos fatores ambientais e genéticos, inerentes à planta.

De acordo com Rocha et al. (1990), na latitude de Lavras, MG, a incidência da insolação sobre as regiões leste, norte e oeste é maior do que na região sul e, em tais regiões, verifica-se maior floração e frutificação e melhoria na qualidade dos frutos.

Para produção de SCCL de alta qualidade, é necessário que os frutos também sejam de alta qualidade, os quais são avaliados de acordo com suas características químicas e físicas. Essas características variam durante o período de maturação, e dependem, entre outros fatores, das condições meteorológicas durante a formação e maturação dos frutos (VOLPE et al., 2002). Segundo Araújo et al. (1999), a qualidade dos frutos pode ser influenciada pela incidência de luminosidade, porém, existem poucos trabalhos que evidenciam a qualidade relacionada com a localização geográfica das frutas nas plantas.

1.3.3. Visualização de volumes

Segundo Paiva et al. (1999), a visualização de volumes é um termo relacionado aos métodos que permitem a extração de informações relevantes a partir de um complexo conjunto de dados, processo geralmente feito a partir da utilização de técnicas de computação gráfica e processamento de imagens.

A visualização do volume (Figura 02) pressupõe a formação do volume e para a formação do volume são necessários dados volumétricos. Os dados volumétricos são obtidos a partir de interpolação tridimensional e o processo de interpolação tridimensional é feito a partir de dados tridimensionais. Na visualização volumétrica, a exploração dos dados não é fixa, ou seja, constitui-se em um processo dinâmico de análise na busca do conhecimento do fenômeno e deve interagir com o volume por rotação, aproximação, cortes e outras formas de manipulação gráfica, em busca de informação de maneira completa (IESCHECK et al., 2008).

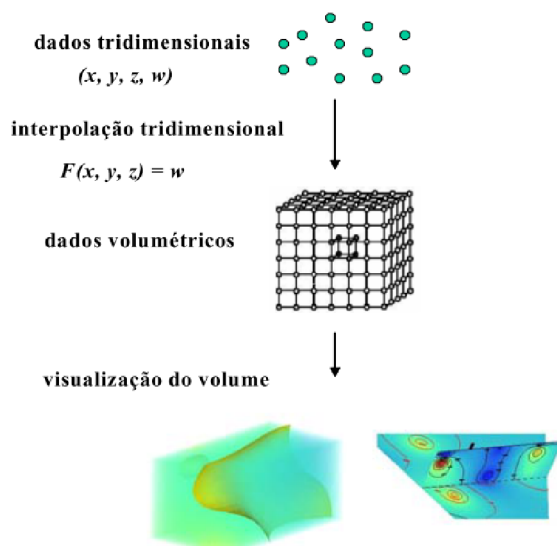


Figura 02 Processo de visualização de volumes.
Fonte: Iescheck et al. (2008).

Em termos gerais, a visualização volumétrica é um processo realizado com o objetivo de obter melhor compreensão da estrutura contida nos dados volumétricos. Segundo Paiva et al. (1999), na maioria das vezes, este conjunto de dados é definido em grade tridimensional com um ou mais valores escalares ou vetoriais, em cada ponto da grade. Os dados volumétricos são geralmente tratados como uma matriz de elementos de volume, denominada voxel (*volume x element*), análogo 3D de um pixel (*picture x element*). Voxels são paralelepípedos (Figura 03) formados pela divisão do espaço do objeto a partir de um conjunto de planos paralelos aos eixos principais desse espaço. Esses elementos não devem se interceptar, sendo de tamanho suficientemente pequeno se comparado às características representadas pelos dados volumétricos.

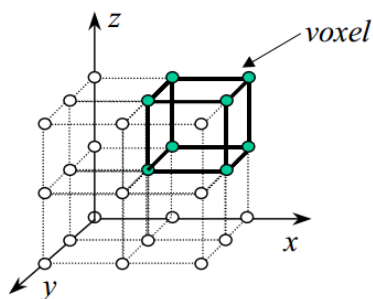


Figura 03 Representação espacial de um voxel.
Adaptado de Paiva et al. (1999).

1.3.4 Interpolação espacial de dados

O processo de reprodução das características do fenômeno espacial, baseado em pontos amostrais, é denominado interpolação ou estimativa e é feito por ajuste de funções matemáticas locais ou globais. De acordo com Yamamoto e Landim (2013), uma divisão simples entre os métodos pode ser entre modelos determinísticos e modelos estocásticos. Os modelos determinísticos têm por base critérios puramente geométricos em que as distâncias são euclidianas e não fornecem medidas de incerteza (exemplo do inverso da distância ao quadrado - IDQ), e nos modelos estocásticos, os valores coletados são interpretados como provenientes de processos aleatórios e são capazes de quantificar a incerteza associada ao estimador (exemplo da krigagem).

Segundo Mitas e Mitasova (1999), a formulação geral para o problema de interpolação espacial de dados é definida como: dados N valores de um fenômeno em estudo $z_j, j = 1, \dots, n$, medidos em pontos discretos $r_j = (x_j^{[1]}, x_j^{[2]}, \dots, x_j^{[d]})$, $j = 1, \dots, N$ dentro de uma região do espaço d -dimensional, encontrar a função $F(r)$ (Equação 1) com d -variáveis que passa através dos pontos dados, ou seja, que preencha a condição:

$$F(r_j) = z_j, j=1, \dots, N \quad (1)$$

Como existe um número infinito de funções que preenchem esse requisito, algumas condições adicionais têm que ser impostas, a fim de que se definam as características das várias técnicas de interpolação. Exemplos típicos são baseados nos conceitos de geoestatística (*krigagem*), de localização (vizinho mais próximo), na suavidade e tensão (*splines*), ou em funções (polinomiais, multiquadráticas). A escolha dessa condição adicional vai depender das características do fenômeno a modelar e do tipo de aplicação.

A representação dos dados para modelagem de superfícies em R^2 (espaço Euclidiano) é feita a partir de duas coordenadas espaciais (x_1, x_2) e um terceiro dado (z), referente ao atributo a ser interpolado, que pode ser a altitude do ponto ou qualquer outro atributo. Para modelagem volumétrica, os dados devem ser tridimensionais e sua representação no espaço tridimensional (R^3) é feita pelas três coordenadas espaciais (x_1, x_2, x_3) bem como um ou mais dados referentes aos atributos (z_i) (IESCHECK et al., 2008).

Em AP, a apresentação de mapas temáticos geralmente é feita no modo bidimensional, utilizando-se das coordenadas geográficas (x, y), longitude e latitude, respectivamente. Esta prática torna mais fácil a construção e interpretação dos mapas gerados, porém, perdem-se informações importantes relativas à coordenada (z) altitude ou profundidade (perfis de solos).

Elementos naturais (solos), com fenômenos de natureza tridimensional e contínua têm propriedades que variam em todas as dimensões do espaço. Tecnologias para aquisição de informações sobre a superfície terrestre são bastante desenvolvidas, porém, isto não ocorre para informações contidas na subsuperfície (GRUNWALD e BARAK, 2003).

De acordo com Iescheck et al. (2008), as informações sobre as propriedades do solo são obtidas de maneira discreta, a partir de um número limitado de amostras pontuais medidas em campo. Os dados resultantes dessas amostras, após análises e descrições, devem ser estendidos por toda a região para representar a geometria espacial contínua das estruturas e as características morfológicas, físicas, químicas, biológicas e mineralógicas que configuram o fenômeno. O conceito que norteia a base teórica da interpolação espacial é a similaridade, ou seja, os valores de pontos próximos no espaço têm maior probabilidade de serem parecidos do que os pontos que estão mais afastados.

Segundo Andriotti (2004), a interpolação de dados é o procedimento pelo qual estimam-se os valores de uma variável em área interior aos pontos de amostragens disponíveis, permitindo representar em mapas, de forma contínua, o comportamento de variáveis amostradas pontualmente. A técnica do *Inverso das Distâncias* tende a formar contornos concêntricos ao redor dos pontos de amostragem e a superfície gerada também pouco reproduz os valores dos pontos de amostragem, salvo algumas exceções. Segundo o mesmo autor, ao utilizar esse método, com a diminuição dos expoentes, os pesos tendem a se igualar às amostras e quando se aumenta o expoente, os pesos tendem a diferenciar mais as amostras. Quando o expoente se aproxima do infinito, todo o peso é dado à

amostra mais próxima. Esse método é puramente matemático (Equação 2) e considera a existência do efeito da distância elevada de um coeficiente 'p' de forma que se podem obter diferentes valores interpolados para uma mesma distância.

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{Z_i}{D_i^p} \right)}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{D_i^p} \right)} \quad (2)$$

em que,

Z: valor interpolado;

n: número de indivíduos observados;

Z_i : valores atribuídos aos indivíduos observados;

D_i : distância entre os indivíduos observados e o interpolado (Z_i e Z);

p: corresponde à potência que se deseja utilizar.

A krigagem é um dos métodos mais flexíveis e úteis para grades (*grids*) de qualquer tipo de dados. Além disso, a krigagem leva em consideração o número de amostras utilizadas, as posições das amostras na área a ser avaliada, as distâncias entre as amostras, a zona a ser estimada e a continuidade espacial da variável em estudo (ANDRIOTTI, 2004). O estimador de krigagem (Equação 3) é do tipo BLUE (*Best Linear Unbiased Estimator*), que é considerado linear por ser formado por uma combinação linear dos dados. A krigagem usa a dependência espacial entre amostras vizinhas, expressa no semivariograma, para estimar valores em qualquer posição dentro do campo, sem tendência e com variância mínima (CARVALHO e ASSAD, 2005).

$$Z(S_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i * Z(S_i) \quad (3)$$

em que: $Z(S_0)$ é o valor interpolado na posição S_0 ; λ_i é o peso atribuído ao i-ésimo valor amostrado na posição S_i ; $Z(S_i)$ é o valor do atributo amostrado; n é o número de localidades vizinhas empregadas para interpolação do ponto; e o somatório dos pesos λ_i deve ser igual a 1 e $0 \leq \lambda_i \leq 1$.

Segundo Soares (2006), nas ciências da Terra e ambiente, os métodos clássicos de inferência espacial de variáveis características de um recurso natural, desde os polígonos de influência, o inverso do quadrado das distâncias e os ajustamentos polinomiais têm, na sua maioria, duas características comuns: tratam-se de métodos determinísticos sem qualquer medida de incerteza associada. Já os métodos geoestatísticos de inferência

espacial, como é o caso da krigagem, estimam uma grandeza em determinado suporte (ponto, área local, volume) não amostrado $Z(S_0)$, localizado genericamente em S_0 , com base em uma combinação linear de valores conhecidos dessa mesma grandeza $Z(S_a)$ em pontos de coordenadas $S_a = 1, 2, \dots, n$, evidenciados na Equação 3.

I.3.5 Geoestatística

Todo o processo de inferência espacial tem início com a coleta de uma amostra composta por n pontos de dados. É esperado que essa amostra seja representativa do fenômeno em estudo, em termos de distribuição e variabilidade espacial (YAMAMOTO e LANDIM, 2013). Ainda segundo os autores, estimativas geoestatísticas são, em geral, superiores aos demais métodos de interpolação numérica, pois fazem uso da função semivariograma, que não é simplesmente uma função da distância entre pontos, mas depende da existência ou não do efeito pepita, da amplitude e da presença de anisotropia.

Quando o objetivo é analisar o comportamento espacial de variáveis utilizando geoestatística, quanto maior o número de pontos amostrais, maior será o número de pares para o cálculo das semivariâncias e, teoricamente, maior será a precisão das estimativas das semivariâncias. O número de observações dependerá dos objetivos que existem no trabalho, da escala (dimensão), entre os outros fatores que devem ser avaliados pelo pesquisador (GUIMARÃES, 2004).

A geoestatística tem grande aplicabilidade nas ciências agrárias como mecanismo de interpolação de dados e análise de variabilidade espacial. Os tipos de krigagem mais difundidos em trabalhos publicados no Brasil e no exterior são a krigagem ordinária (MATHERON, 1963), a krigagem indicatriz (JOURNEL, 1982) e a cokrigagem (WACKERNAGEL, 2003).

O semivariograma e a krigagem são ferramentas advindas dos métodos geoestatísticos que auxiliam no estudo do comportamento das variáveis regionalizadas. O semivariograma (Equação 4) mostra o grau de dependência espacial entre amostras, ou seja, a distância máxima na qual os valores ainda apresentam correlação. É utilizado na determinação da estrutura de variabilidade espacial e da amplitude da dependência espacial das variáveis em estudo. O modelo matemático ajustado ao semivariograma caracteriza a natureza da função que descreve a variabilidade espacial. A krigagem usa informações a partir do semivariograma para encontrar os pesos ótimos a serem associados aos valores amostrais conhecidos, com o objetivo de estimar os valores para os pontos desconhecidos. A diferença entre a krigagem e outros métodos de interpolação é a maneira como os pesos são atribuídos às diferentes amostras (VILELA e CATANEO, 2009).

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(S_i) - Z(S_i + h)]^2 \quad (4)$$

em que $\hat{\gamma}(h)$ é a função semivariância estimada de $\gamma(h)$, $N(h)$ é o número de pares de valores medidos $Z(S_i)$, $Z(S_i + h)$, separados por uma distância h .

Em geostatística, a covariância mede a relação entre valores da mesma variável, obtidos em pontos separados por uma distância h , conforme determinada direção. Isto significa que, ao se alterar a direção, a covariância também pode se alterar, ou seja, indica a presença do fenômeno espacial anisotrópico (Figura 04). Quando o fenômeno em estudo está distribuído em 2D, as covariâncias geralmente são calculadas nas direções 0°, 45°, 90° e 135° e para fenômenos 3D, além das direções horizontais, calculam-se as covariâncias para a direção vertical ou inclinada, conforme a estrutura em estudo (YAMAMOTO e LANDIM, 2013).

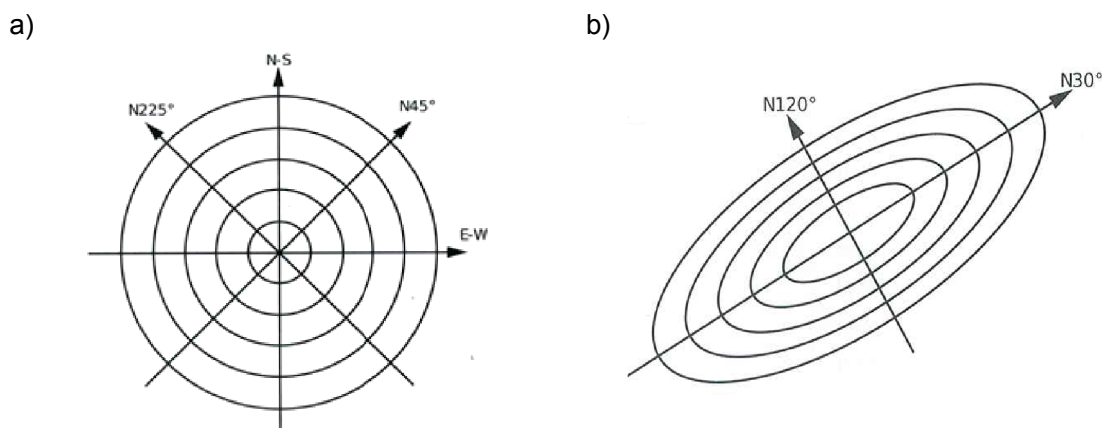


Figura 04 Esquema dos fenômenos espaciais: (a) isotrópico e (b) anisotrópico.
Fonte: Yamamoto e Landim (2013).

Para Soares (2006), dois tipos de anisotropia devem ser destacados. A anisotropia geométrica que caracteriza-se pelo fato de os semivariogramas terem o mesmo modelo com o mesmo patamar em todas as direções, mas alcances diferentes e, a anisotropia zonal que é típica em fenômenos em 3D, ao qual a direção vertical exerce um papel particular, pois há variações maiores entre os estratos do que no interior de cada um deles. Caracteriza-se pelos semivariogramas possuírem patamares e alcances diferentes nas diversas direções. A relação entre o semivariograma e a covariância é dada pela Equação 5, e ilustrada pela Figura 05.

$$\gamma(h) = C(0) - C(h) \quad (5)$$

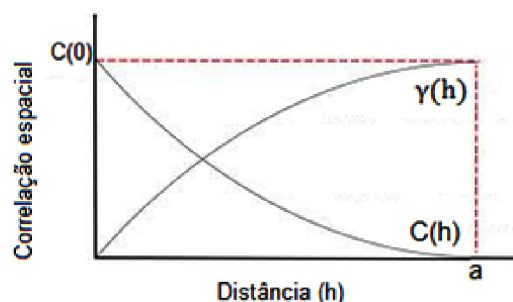


Figura 05 Funções covariância $C(h)$ e semivariograma $\gamma(h)$, com alcance a .
Fonte: adaptado de Soares (2006).

Quando a distribuição espacial dos pontos amostrais for regular, o semivariograma pode ser calculado diretamente com base nos pontos amostrais. Quando a distribuição for irregular, há necessidade de que se definam os parâmetros adicionais (Figura 06), além da distância e da direção. Este processo pode ser aplicado também para dados com distribuição regular, e um semivariograma experimental representado por um maior número de pares é estatisticamente mais significativo (YAMAMOTO e LANDIM, 2013).

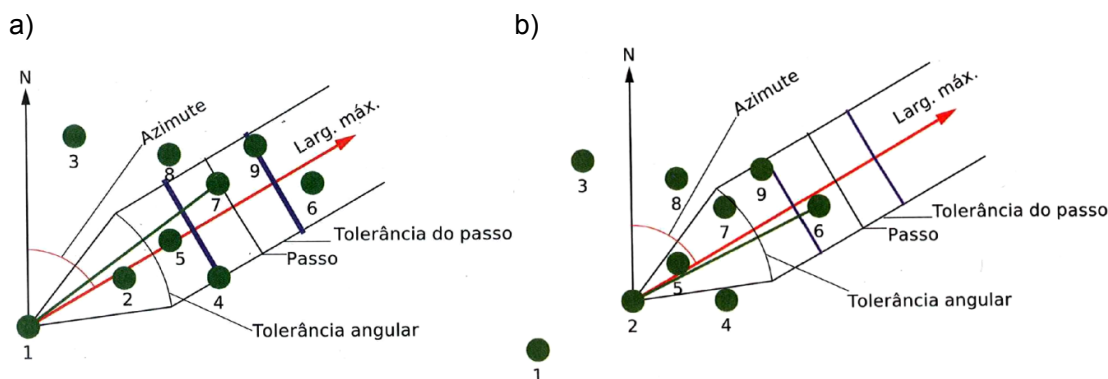


Figura 06 Esquema da pesquisa de pares para cálculo de semivariograma experimental (a) o dispositivo é centrado no ponto 1; (b) move-se o dispositivo para o ponto 2.
Fonte: Yamamoto e Landim (2013).

A função semivariograma mede a variância entre os pontos separados por uma distância h , e muitas vezes, a variância se estabiliza a partir de certa distância. Isso significa que, mesmo com o aumento da distância, a função semivariograma irá oscilar em torno da variância máxima, denominada patamar. Quando a variância continua aumentando indefinidamente com a distância, configuram-se os semivariogramas sem patamar.

A distância segundo a qual $\gamma(h)$ atinge o patamar (C_0+C), geralmente igual à variância dos dados, é chamada de alcance (a). Segundo Silva et al. (2003), determinações realizadas em distâncias menores que o alcance são correlacionadas umas às outras, o que permite que se façam interpolações para espaçamentos menores que os amostrados. O efeito pepita (C_0) é causado pela variância aleatória e C é denominada variância espacial, ilustrados na Figura 07 a seguir:

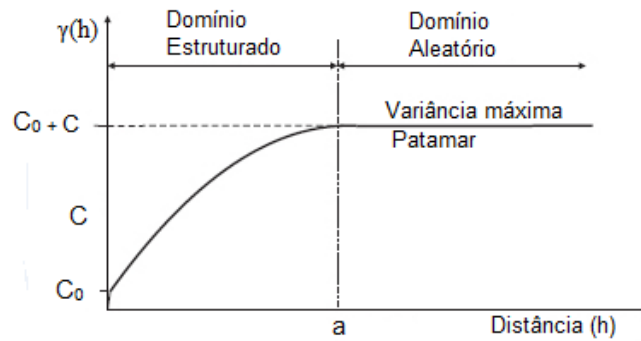


Figura 07 Propriedades de um semivariograma com patamar.

Fonte: Adaptado de Yamamoto e Landim (2013).

Ainda segundo os autores, embora existam vários modelos de semivariogramas teóricos com patamar, são três os mais comuns que podem explicar a variabilidade da grande maioria dos fenômenos espaciais:

o modelo esférico,

$$\gamma(h) = C_0 + C \left[1,5 \frac{h}{a} - 0,5 \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right], \quad h < a \quad (6)$$

$$\gamma(h) = C_0 + C, \quad h \geq a$$

$$\gamma(h) = 0, \quad h = 0$$

o modelo exponencial,

$$\gamma(h) = C_0 + C \left[1 - \exp \left(-\frac{h}{a} \right) \right], \quad h > 0 \quad (7)$$

$$\gamma(h) = 0, \quad h = 0$$

e o modelo gaussiano,

$$\gamma(h) = C_0 + C \left[1 - \exp \left(-\left(\frac{h}{a} \right)^2 \right) \right], \quad h > 0 \quad (8)$$

$$\gamma(h) = 0, \quad h = 0$$

As variáveis em estudo (regionalizadas) podem ser contínuas ou discretas. As variáveis contínuas podem apresentar comportamentos distintos revelados pela forma do histograma. Se a distribuição tiver assimetria positiva, há necessidade de transformação dos dados para evitar a influência dos poucos valores altos na estimativa de pontos da vizinhança, caracterizada por baixos valores (Figura 08). Para dados com distribuição normal ou que apresentem assimetria negativa, não há necessidade de transformação dos dados, e a krigagem ordinária é aplicada diretamente sobre os dados originais (YAMAMOTO e LANDIM, 2013).

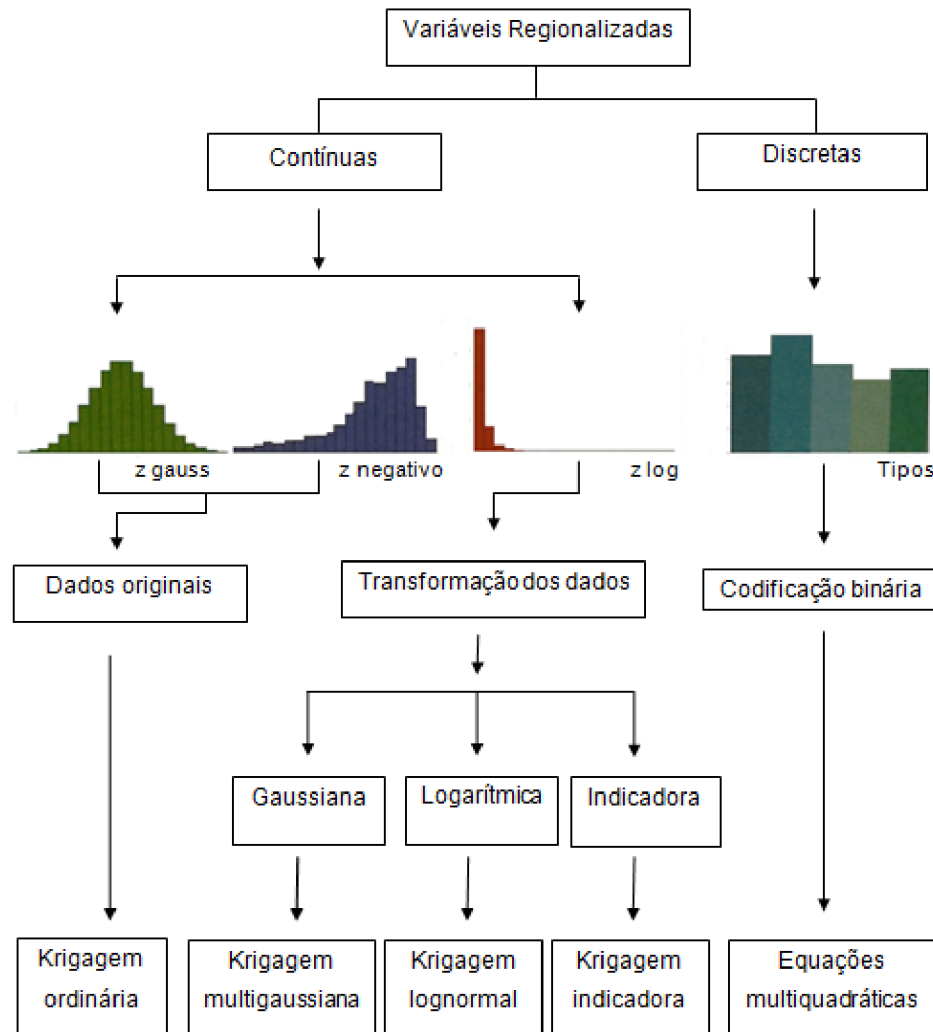


Figura 08 Esquema do processo de estimativa geoestatística.
 Fonte: YAMAMOTO e LANDIM (2013).

A krigagem fornece, além dos valores estimados, o erro associado à estimativa, que o distingue dos demais algoritmos (CARVALHO e ASSAD, 2005). Todos os estimadores de krigagem são variantes do estimador básico de regressão linear $Z(u)$, que é definido pela Equação 9:

$$Z^*(u) - m(u) = \sum_{\alpha=1}^{n(u)} \lambda_{\alpha}(u) [Z(u_{\alpha}) - m(u_{\alpha})] \quad (9)$$

em que, $\lambda_{\alpha}(u)$ são os pesos definidos para os dados $z(u_{\alpha})$, interpretado como realização da variável aleatória $Z(u_{\alpha})$. As quantidades $m(u)$ e $m(u_{\alpha})$ são os valores esperados das variáveis aleatórias $Z(u)$ e $Z(u_{\alpha})$. O número de amostras necessárias para a estimação bem como seus pesos variam de um local para outro. Na prática, somente os $n(u)$ pares de

observação perto do local u a ser estimado são mantidos. A interpretação de $z(u)$ e $z(u_\alpha)$, como realizações das variáveis aleatórias $Z(u)$ e $Z(u_\alpha)$, permite a definição do erro de estimação como variável aleatória $Z^*(u) - Z(u)$. A estimação por krigagem baseia-se na minimização da estimativa da variância do erro $\sigma^2_E(u)$ (Equação 10) sobre a suposição da não-tendenciosidade do estimador:

$$\sigma^2_E(u) = \text{Var} \{Z(u) - Z(u)\} \quad (10)$$

que é minimizado por: $E\{Z^*(u) - Z(u)\} = 0$

Dentre os estimadores lineares mais usuais podem ser citadas a krigagem simples, krigagem da média, krigagem ordinária e krigagem universal, sendo a krigagem ordinária a mais usual (YAMAMOTO e LANDIM, 2013). Assim, para a krigagem simples, uma estimativa linear ponderada, de um local não amostrado x_0 e n valores obtidos em pontos adjacentes pode ser escrita conforme a Equação 11 (JOURNEL, 1989):

$$Z^*_{KS}(x_0) = m_0 + \sum_{i=1}^n \lambda_i [Z(x_i) - m_i] \quad (11)$$

em que $m_i = E [Z(x_i)]$ são as médias, as quais são assumidas como conhecidas; m_0 é a média do ponto x_0 e $\{\lambda_i, i = 1, n\}$ são os pesos associados aos n dados. Sob a condição de estacionaridade de segunda ordem, a média e a variância de todos os locais são constantes, dependendo apenas das distâncias euclidianas que os separam, então o estimador da krigagem simples é calculado conforme a Equação 12:

$$Z^*_{KS}(x_0) = m + \sum_{i=1}^n \lambda_i [Z(x_i) - m] \quad (12)$$

A krigagem simples pressupõe que a média é conhecida e considerada constante em todo o domínio amostral. Mas, nem sempre isso acontece e tampouco a média pode ser considerada constante. Assim, é preciso estimar a média em torno de uma região caracterizada por uma vizinhança com n pontos mais próximos $\{Z(x_i), i = 1, n\}$. Desse modo, segundo Wackernagel (1995), a krigagem da média (Equação 13) pode ser descrita como:

$$Z^*_{KSM}(x_0) = \sum_{i=1}^n \left[\lambda_i^{KS} + \left(1 - \sum_{j=1}^n \lambda_j^{KS} \right) \lambda_i^{KM} \right] Z(x_i) \quad (13)$$

De acordo com o autor, o termo entre colchetes é o peso da krigagem ordinária, e o termo entre parênteses é chamado de peso da média. Então, a krigagem ordinária nada mais é que a krigagem simples com a média local calculada pela krigagem da média. É o método mais utilizado, pela simplicidade e resultados que proporciona. É um método local de estimativa e, dessa forma, a estimativa de um ponto não amostrado resulta da combinação linear dos valores encontrados na vizinhança próxima e o estimador da krigagem ordinária pode ser descrito pela Equação 14:

$$Z^*_{KO}(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (14)$$

A krigagem ordinária estima o valor em um ponto ou região onde o semivariograma é conhecido, utilizando-se os dados de vizinhança, por meio de combinação linear dos ponderadores (WACKERNAGEL, 2003).

A geoestatística tem por objetivo a caracterização da dispersão espacial e temporal das grandezas que definem a quantidade e a qualidade de recursos naturais, tais como florestas, recursos geológicos, hidrológicos, ecológicos ou outros fenômenos espaciais em que os atributos manifestem certa estrutura no espaço ou no tempo (SOARES, 2006).

A partir da aplicação da geoestatística e dos mapas gerados por krigagem, Farias et al. (2003) determinaram a variabilidade espacial de produtividade e tamanho de frutos de laranja em sistemas irrigado e não irrigado. Os autores afirmaram que a geoestatística mostrou-se uma ferramenta bastante útil para auxílio em programas de AP.

A dinâmica espacial da clorose variegada dos citros (CVC) foi estudada por Roberto et al. (2002) em um pomar comercial de laranja (*Citrus sinensis*), variedade valência com cinco anos de idade. A dinâmica espacial da CVC foi avaliada por análises de semivariogramas e, para cada modelo ajustado, foram gerados mapas temáticos da incidência da doença. Observou-se por meio dos mapas de krigagem que a incidência da CVC aumentou em períodos em que as plantas se encontravam em desenvolvimento vegetativo, coincidindo com maior ocorrência esperada de insetos vetores da bactéria no campo.

O interesse combinado em AP e tecnologia da informação, estudado por Rovira-Más et al. (2008), leva a um interesse crescente na geração de mapas tridimensionais. Os autores utilizaram informações capturadas com uma câmera estérea e sensor GPS, instalados em plataforma frontal de um quadriciclo para a criação de mapas tridimensionais do terreno por captura e geração de nuvens de pontos tridimensionais.

I.3.6 Geoestatística tridimensional

A geoestatística tridimensional teve sua origem, principalmente, em estudos geológicos e de condutividade hidráulica. Choi e Park (2006) apresentaram novo modelo de integração entre sistemas de informação geográfica (SIG) e métodos geoestatísticos tridimensionais visando ao estudo da variabilidade tridimensional das propriedades do solo. Ademais, fornece ferramenta útil para estimativas tridimensionais em estudos geológicos, portanto, torna possível o uso dos resultados estimados de forma mais eficiente dentro de um SIG.

Segundo os autores, na integração entre um SIG e os métodos geoestatísticos 3D, para a geração de modelos de sólidos, a sequência dos passos é a seguinte: configura-se limite geométrico e, em seguida, estrutura em grade 3D; divide-se o banco de dados em sistema de grade, a fim de que se atribuam valores para cada célula da grade; cria-se então a estrutura de dados raster em 3D, com quatro variáveis (x, y, z e o valor do atributo). O próximo passo é a construção de banco de dados SIG 3D; as coordenadas x, y, z e valores de atributos são armazenados em tabela SIG; e, a fim de se converterem os pontos 3D para estrutura de dados 3D de grade, é aplicado o conceito da distância moderada; distância de separação moderada das coordenadas z de pontos 3D são aproximadas por múltiplas camadas vetoriais de pontos 2D (uma das principais estruturas de dados em SIG); as múltiplas camadas vetoriais 2D que contêm a amostra de dados são então convertidas em múltiplas camadas raster 2D; após a conversão de dados de pontos 3D para uma grade 3D, a estimativa geoestatística 3D pode então ser realizada, conforme exemplificado no esquema representado pela Figura 09.

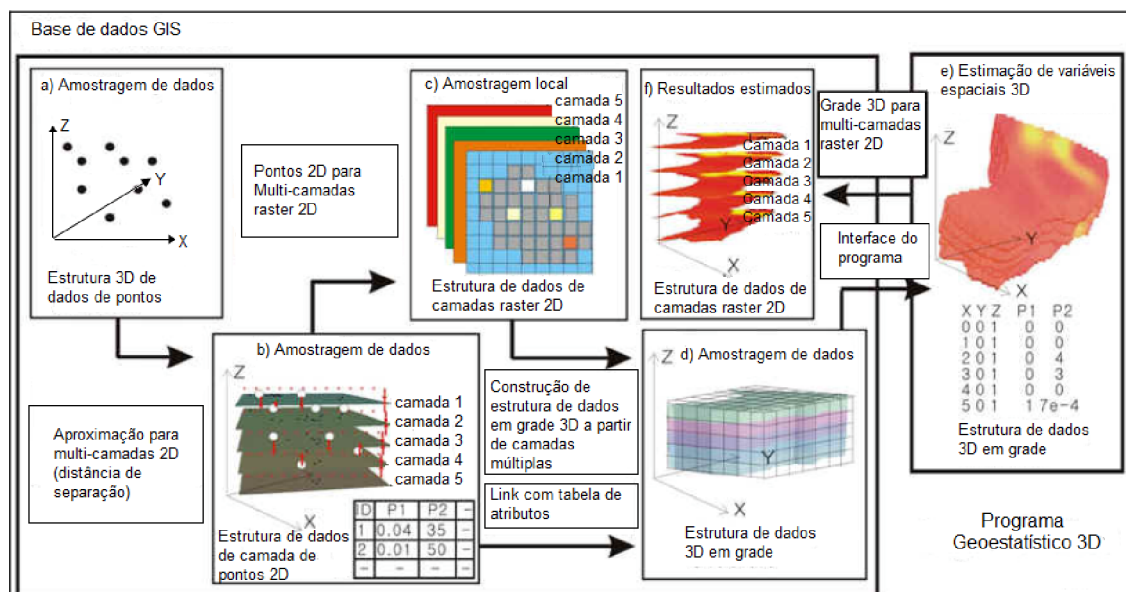


Figura 09 Conceito de conversão de dados integrando SIG e métodos geoestatísticos 3D.

Fonte: Adaptado de Choi e Park (2006).

A análise da variabilidade tridimensional das propriedades de um solo é uma importante ferramenta de apoio na detecção de parâmetros que influenciam o crescimento de culturas e o manejo do solo. HE et al. (2010) mediram a densidade de um solo, em 28 pontos de coleta com espaçamento de 500 x 500m na direção horizontal, em área total de 616 ha. Na direção vertical, as amostras foram coletadas de 10 em 10 centímetros até 30 cm, e de 20 em 20 cm até a profundidade máxima de 130 cm. Utilizou-se o software SGeMS para analisar a variabilidade espacial tridimensional do solo, assim, os autores afirmaram que a análise mostrou-se eficiente para simular a distribuição espacial tridimensional da textura do solo e que pode fornecer informações úteis para outras linhas de pesquisa na área agrícola.

A combinação da geoestatística com SIG fornece ferramentas úteis para análise de mudanças espaço-temporal nas ciências ambientais e podem ser detectadas características que não são perceptíveis quando se usam apenas estatísticas convencionais (ZHANG e McGRATH, 2004),

Segundo Ilescheck et al. (2008), a visualização tridimensional das propriedades físicas e químicas dos solos permite reconhecer a distribuição espacial dos atributos através de volumes, sendo de grande valia para diversas áreas da ciência e se constitui como uma importante ferramenta de apoio aos processos de análises.

Na fruticultura, a posição de um fruto na árvore pode ser determinante na caracterização de suas propriedades físicas e químicas. De acordo com o estudo sobre variabilidade espacial do diâmetro de frutos de laranjeiras, Gasparin et al. (2010) determinaram a posição x, y e z, em coordenadas UTM, de frutos de uma laranjeira utilizando-se de GPS topográfico e estação total sem utilização de prisma.

Além disso, Siqueira et al. (2010) analisaram o relevo de um pomar de laranjas com relação a variabilidade dos atributos do solo e dos frutos de laranja e concluíram que o relevo de forma côncava apresentou maior aptidão para a circulação de água no perfil do solo, dados que favorecem os resultados para os atributos dos frutos, principalmente quanto ao teor de sólidos solúveis totais, enquanto o relevo de forma linear favoreceu o rendimento da cultura.

I.4 MATERIAL E MÉTODOS

I.4.1 Caracterização da área de estudo e cultura

A área para realização do estudo, de aproximadamente 1 ha, situa-se no município de Nova Laranjeiras (Figura 10), região Centro-Oeste do estado do Paraná, com altitude média de 760 m e coordenadas UTM centrais aproximadas de 7.191.655 m S e 341.660 m E, 22J, (25°23'00,57" S e 52°34'26,11"O). A pluviosidade média anual é de 1900 mm e umidade relativa do ar média de 75%. O solo da área é classificado, segundo EMBRAPA (2013), como LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico. O clima da região é caracterizado como tipo submontano (tipo temperado quente) úmido e muito úmido, com temperatura média anual de 19,5 °C.

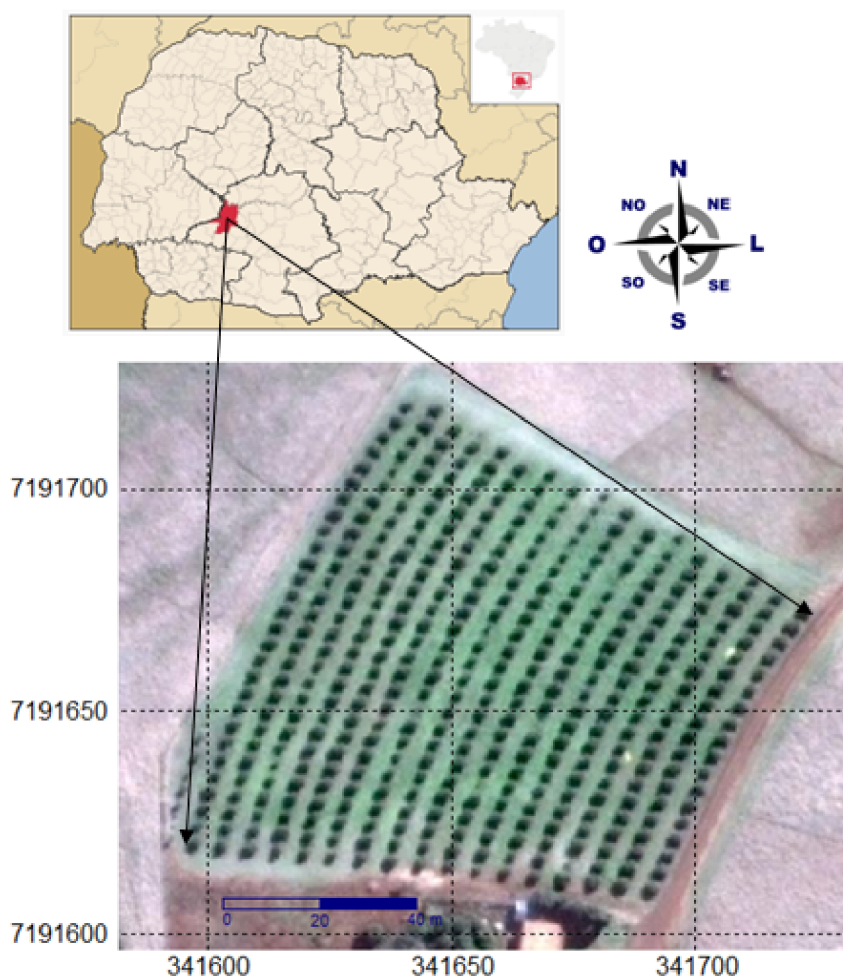


Figura 10 Localização do município de Nova Laranjeiras - PR e da área experimental.
Fonte: Adaptado de Google Earth (2013).

Os dados meteorológicos foram disponibilizados pelo SIMEPAR - Sistema Meteorológico do Paraná - para o período do experimento, compreendido entre outubro de

2010 a maio de 2013, de uma estação meteorológica, localizada no município de Palmital-PR, distante aproximadamente 70 km do pomar.

O pomar de citros foi implantado em agosto de 2005, com 400 mudas provenientes da região de Ijuí/RS e espaçamento de 4 x 6 m. O porta-enxerto utilizado foi o *Poncirus trifoliata* (L.) Raf., no qual foi enxertada a variedade Monte Parnaso (*Citrus sinensis* [L.] Osbeck). Atualmente, o pomar conta com 394 laranjeiras em produção.

Na implantação do pomar, conforme informações do proprietário, a adubação nas covas foi realizada utilizando P (40 g de P_2O_5), calcário e adubo orgânico. Para correção da acidez do solo, a calagem foi realizada baseada em análise prévia do solo. A adubação ocorreu de acordo com as análises de solo e foliar seguindo recomendação do Grupo Paulista de Adubação e Calagem para Citros (1994). As adubações nos anos de 2011, 2012 e 2013 ocorreram nos meses de setembro e outubro e consistiram da aplicação de uréia ($(NH_2)CO$), 300 g por árvore e cloreto de potássio (KCl), 300 g por árvore. As recomendações foram realizadas de acordo com consulta feita ao Engenheiro Agrônomo responsável.

I.4.2 Amostragem e delineamento experimental

As coordenadas geográficas da área foram coletadas com receptor GPS Trimble Geo Explorer XT 2005 com pós-processamento, precisão de ± 30 cm, configurado para trabalhar com o *Datum* WGS-84 e foi utilizado o mesmo elipsóide de referência no processamento dos dados. Considerando que cada árvore seja um conjunto de unidades amostrais (laranjas), foram definidas nove árvores (Figura 11) para representação espacial da área total do pomar.

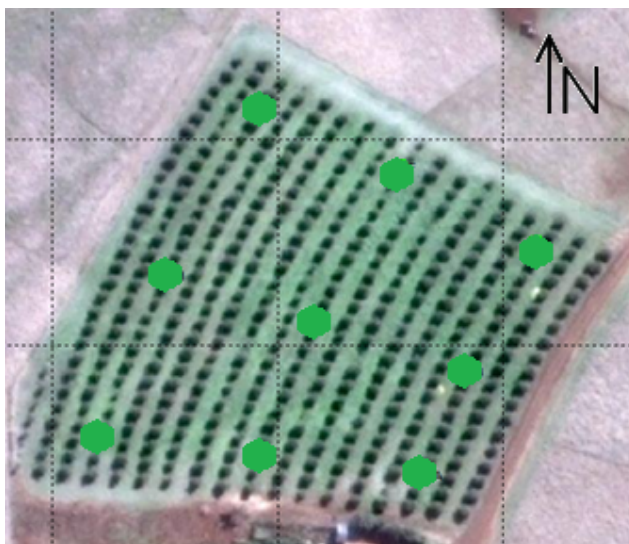


Figura 11 Localização das laranjeiras no pomar.

As laranjeiras da terceira fileira e a terceira laranjeira nesta fileira foram escolhidas com a finalidade de minimizar os efeitos externos (efeito bordadura), a partir da margem limite do pomar. As coordenadas UTM dos frutos, escolhidos aleatoriamente, foram coletadas com o auxílio de estação total da marca Topcon, cujos frutos foram marcados e numerados (Figuras 12a e 12b). A coleta das coordenadas dos frutos ocorreu aproximadamente 30 dias antes da colheita dos mesmos. A irradiação solar global instantânea expressa em $W\ m^{-2}$, foi medida nos quadrantes NO, NE, SO e SE, utilizando piranômetro digital. Os dados de irradiação solar global foram coletados sempre no dia da colheita dos frutos, nas três safras, em horário próximo ao meio dia com céu livre de nuvens.

a)



b)



Figura 12 Identificação dos frutos com etiqueta (a) e frutos de laranja 'Monte Parnaso' (b).

As variáveis que compõem todo o processo de análise podem ser visualizadas pelo diagrama representado na Figura 13.

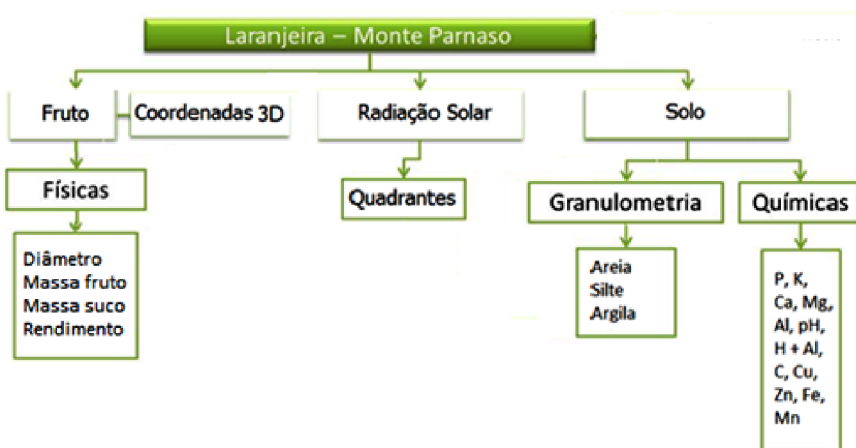


Figura 13 Diagrama das variáveis determinadas para análise de dados.

1.4.3 Colheita dos frutos

O Programa Brasileiro para Melhoria dos Padrões Comerciais e Embalagens de Hortigrangeiros recomenda relação de sólidos solúveis totais pela acidez total titulável

(SST/ATT) de 9,5:1 para as cultivares de laranjas mais comercializadas (Hamlin, Bahia, Rubi, Pera, Natal e Valência) naquela central de abastecimento (GBCM, 2000).

Haja vista o pomar ser de laranjas caracterizadas como tipo de mesa, a época de colheita dos frutos seguiu recomendação do próprio produtor, indicando o ponto ideal de maturação da maioria dos frutos. No total, foram colhidos 715 frutos (safras 2011, 2012 e 2013) entre as nove árvores, cuja variação foi de 25 a 30 frutos por árvore/safra. A colheita ocorreu simultaneamente para todos os frutos em cada ano (final do mês de maio) visando ao reconhecimento da heterogeneidade de suas propriedades físicas em função da posição de cada fruto na árvore. Após a colheita, os frutos, identificados individualmente, foram acondicionados em refrigerador até a realização das análises laboratoriais, que ocorreram no máximo em até cinco dias.

I.4.4 Análise do solo

As coletas de amostras de solo foram realizadas nos anos de 2011, 2012 e 2013 na projeção periférica da copa das laranjeiras, para análise química (P, K, Ca, Mg, Al, pH, H+Al, C, Cu, Zn, Fe e Mn) e no ano de 2011, para análise granulométrica (areia, silte e argila), visando à caracterização do solo. Segundo Koller (2006), para plantas perenes, como é o caso das laranjeiras, é interessante conhecer a situação do solo em camadas mais profundas, que podem ser atingidas pelas raízes das plantas, que em geral, 80% do volume de raízes se encontram na camada de até 50 cm. Além de amostras de 0-20 cm, recomenda-se também retirar amostras de 20-40 cm de profundidade. As amostras foram coletadas com a utilização de um trado manual tipo holandês, sendo retiradas quatro sub amostras de solo por árvore amostral nas duas profundidades, as quais foram misturadas. O resultado final foi uma única amostra na profundidade de 0-20 e outra amostra para a profundidade 20-40 cm. As coletas de solo foram realizadas nos dias da colheita dos frutos em cada safra.

Cada amostra foi acondicionada em saco plástico, devidamente identificado para realização dos procedimentos analíticos de determinação das propriedades químicas e granulométrica. As análises foram realizadas na Cooperativa Central de Pesquisa Agrícola – COODETEC, Cascavel – PR. A análise granulométrica indicou que o solo é composto por 76% de argila, 15% de silte e 9% de areias, classe argila, solo tipo 3.

I.4.5 Análise laboratorial

As análises dos frutos foram realizadas no Laboratório de Controle de Qualidade de Produtos Agrícolas da UNIOESTE campus de Cascavel/PR. O número de frutos amostrados

variou de ano para ano e de árvore para árvore conforme a disponibilidade de frutos e perda de amostras entre a identificação e a colheita. Foram analisadas 203, 249 e 263 laranjas nos anos de 2011, 2012 e 2013, respectivamente.

Na análise física dos frutos, foram mensurados individualmente o diâmetro equatorial (D) (mm), através de paquímetro digital, massa do fruto (MF) (g) e a massa do suco (MS) (g) em balança analítica digital e o rendimento de suco (RS) (%) foi obtido a partir da razão entre a massa de suco e a massa de bagaço. Por fim, utilizou-se espremedor elétrico manual para a extração do suco de cada fruto.

I.4.6 Posição tridimensional do frutos

Para a coleta precisa das coordenadas UTM dos frutos, foi utilizada estação total com recurso de leituras sem utilização de prisma. Inicialmente, foi determinado um ponto de partida (PP), cujas coordenadas foram coletadas por receptor GPS com pós-processamento. Foi instalada então, no PP, a estação total, nivelada, orientada em relação ao norte magnético e inseridas as coordenadas UTM corrigidas do ponto. Assim, foi possível determinar as coordenadas do tronco (pé) e dos frutos de cada laranjeira (Figura 14).

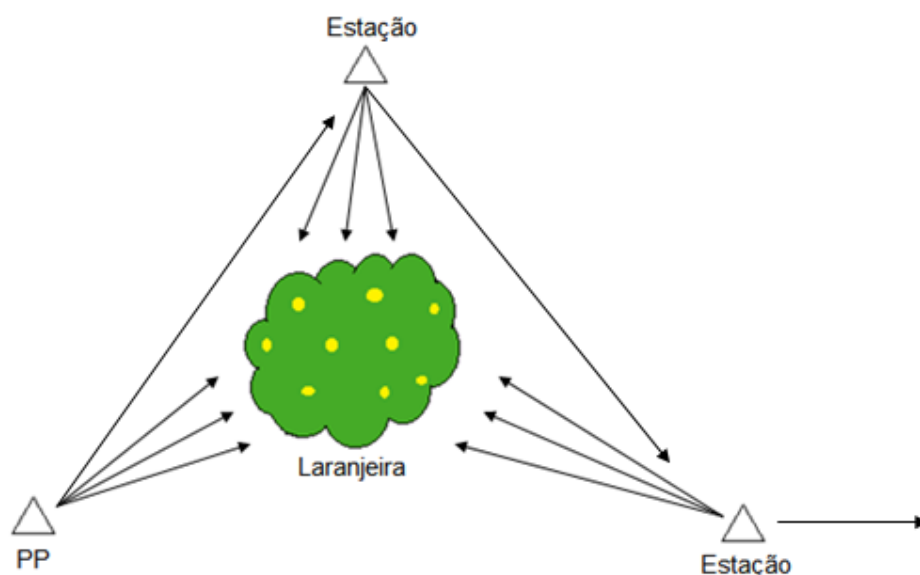


Figura 14 Ilustração do posicionamento inicial da estação total para coleta de coordenadas dos frutos.

Para cada laranjeira, foi necessária a instalação da estação total em três pontos (pontos de apoio) para que fossem realizadas as leituras das coordenadas dos frutos em todas as faces da laranjeira, e assim, sucessivamente para as demais árvores.

À medida que cada fruto era georreferenciado, uma etiqueta era amarrada a ele com a identificação da árvore e o número do fruto (Figura 12a). De posse dos resultados das análises laboratoriais das propriedades físicas dos frutos e de suas respectivas posições, os dados foram tabulados em planilhas para posterior análise estatística e geoestatística.

I.4.7 Análise estatística

Os dados foram analisados estatisticamente, utilizando análise exploratória, em que foram avaliadas as medidas de posição (média, mediana e moda), dispersão (amplitude, desvio padrão, variância e coeficiente de variação (CV)) e forma (assimetria e curtose). Para a verificação da normalidade dos dados, foram utilizados os testes de Shapiro-Wilk Kolmogorov-Smirnov ao nível de 5% de significância, sendo considerados normais os dados que apresentarem normalidade em, pelo menos, um dos testes. Vale ressaltar que, o CV é classificado como 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) (PIMENTEL GOMES e GARCIA, 2002).

Para a verificação do comportamento espacial e a presença ou não de dados discrepantes, os dados foram analisados a partir de histogramas, gráficos box-plot e post-plot. Tais gráficos permitem identificar tendências direcionais dos dados, ou seja, tendências de aglomeração de dados com valores altos ou baixos em determinadas regiões.

O grau de correlação entre as variáveis foi avaliado utilizando o coeficiente de correlação linear de Pearson (r), Equação 15, classificada em quintis (cinco partes iguais) (Tabela 01) conforme Konopatzki (2011). O coeficiente r foi calculado utilizando o *software Minitab*®14, enquanto a magnitude e o sentido da correlação são expressos numericamente, cujo valor varia entre 1 e -1, ou seja, $-1 \leq r \leq 1$.

$$r = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i - \bar{x}}{S_x} \right) \cdot \left(\frac{y_i - \bar{y}}{S_y} \right) \quad (15)$$

em que:

$\bar{x}$ e $\bar{y}$ são as médias amostrais de X e Y, respectivamente,

S_x e S_y são os desvios padrões amostrais de X e Y, respectivamente.

Tabela 01 Níveis de interpretação para o coeficiente linear de Pearson

0	$0 \leq r < -0,2$	$-0,2 \leq r < -0,4$	$-0,4 \leq r < -0,6$	$-0,6 \leq r < -0,8$	$-0,8 \leq r \leq -1$
Ausência	Negativa muito fraca	Negativa fraca	Negativa moderada	Negativa forte	Negativa muito forte
0	$0 \leq r < 0,2$	$0,2 \leq r < 0,4$	$0,4 \leq r < 0,6$	$0,6 \leq r < 0,8$	$0,8 \leq r \leq 1$
Ausência	Positiva muito fraca	Positiva fraca	Positiva moderada	Positiva forte	Positiva muito forte

Fonte: Konopatzki (2011).

1.4.8 Análise geoestatística

A geoestatística foi utilizada para conhecer o grau de dependência espacial entre as amostras, avaliado pelo semivariograma, a fim de possibilitar a construção de mapas bidimensionais e tridimensionais para interpretação da variabilidade espacial.

Os dados foram analisados por meio da geoestatística para identificar a estrutura da variabilidade espacial, utilizando-se o estimador clássico de Matheron (1963), (Equação 16). Um modelo teórico (esférico, exponencial ou gaussiano) foi ajustado ao semivariograma experimental pelo método de ajuste de mínimos quadrados ordinários (OLS) (CRESSIE, 1985). A dispersão espacial das variáveis (isotrópicas ou anisotrópicas) foi avaliada para verificação de direção preferencial dos valores. Quando de comportamento isotrópico da variável, utilizou-se semivariograma omnidirecional, caso contrário (comportamento anisotrópico), fez-se necessária a especificação das direções de estudo.

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N_{(h)}} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(S_i) - Z(S_i + h)]^2 \quad (16)$$

Encontradas as estimativas dos parâmetros efeito pepita (C_0), alcance (a) e patamar ($C_0 + C_1$), chegou-se ao modelo mais adequado de semivariograma teórico pelo cálculo do índice de comparação de erros (ICE, Equação 17, BAZZI et al., 2009) que, na seleção de j modelos, proporciona um valor tão menor quanto mais próximo de zero é $\overline{ER}$ (erro médio reduzido) e mais perto de um é S_{ER} (desvio padrão do erro médio reduzido). Portanto, na escolha entre diversos modelos, aquele que tiver menor ICE é considerado o melhor modelo.

$$ICE_i = A + B \quad (17)$$

$$A = \begin{cases} \frac{ABS(\overline{ER})_i}{MAX(ABS(\overline{ER}))} , & \text{quando } MAX(ABS(\overline{ER})) > 0 \\ 1 & , \text{ quando } MAX(ABS(\overline{ER})) = 0 \end{cases}$$

$$B = \begin{cases} \frac{ABS(S_{ER} - 1)_i}{MAX(ABS(S_{ER} - 1))} , & \text{quando } MAX(ABS(S_{ER} - 1)) > 0 \\ 1 & , \text{ quando } MAX(ABS(S_{ER} - 1)) = 0 \end{cases}$$

O grau de dependência espacial foi classificado de acordo com o índice de dependência espacial (IDE, Equação 18), conforme Cambardella *et al.* (1994), os quais propuseram os seguintes intervalos: $IDE \leq 25\%$ - forte dependência espacial; $25\% < IDE < 75\%$ - moderada dependência espacial e $IDE \geq 75\%$ - fraca dependência espacial.

$$IDE = \frac{C_0}{C_1 + C_0} \times 100 \quad (18)$$

em que C_0 é o efeito pepita e C_1 é a contribuição (*parcial sill*).

Assim, quanto menor for o C_0 , maior será a dependência espacial de um atributo. De acordo com Silva et al. (1989), quando as variáveis analisadas apresentaram efeito pepita puro, ou seja, ausência de dependência espacial e indicação de distribuição espacial aleatória, pode-se valer da aplicação da estatística clássica.

Os dados foram interpolados de acordo com a estrutura de variabilidade identificada no semivariograma teórico com melhor ajuste (menor ICE).

1.4.9 Geração de mapas temáticos tridimensionais

Nas abordagens geoestatísticas tradicionais ocorre o problema de não consideração dos valores das variáveis na coordenada z (Figuras 15a, 15b e 15c), pois assumem que todos os dados são dispostos na camada 2D (x e y). Inicialmente, neste trabalho, foram realizadas a análise geoestatística bidimensional dos dados e a geração de mapas temáticos bidimensionais, interpolados pelo método do inverso da distância ao quadrado (IDQ), utilizando o software Surfer®.

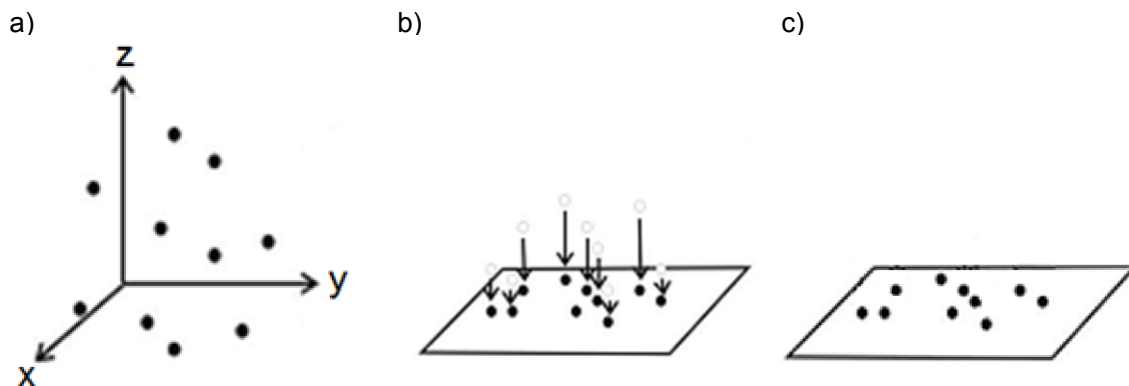


Figura 15 Metodologia de projeção de dados em abordagens bidimensionais. a) Dados disponíveis no espaço tridimensional, b) Projeção dos dados no plano bidimensional, c) Perda dos valores da coordenada z.

A exploração das características internas do objeto de estudo é necessária para análise mais detalhada da variabilidade espacial, quando se trata de dados tridimensionais. Os mapas tridimensionais dos atributos físicos dos frutos podem indicar variações de valores em função da posição dos mesmos na árvore. A representação pode ser em perspectiva (3D), em cortes (nos eixos x, y, z) ou em faces (bidimensionais) e como o software utilizado trabalha com grid tridimensional, os mapas serão apresentados em forma de um paralelepípedo que envolve a árvore, levando em consideração as menores e

maiores coordenadas dos frutos em cada árvore e em cortes no eixo z (cota), portanto, ilustra a variabilidade espacial nos terços (basal, intermediário e apical).

Para a retirada da influência temporal (2011, 2012 e 2013) dos dados, foi utilizada metodologia apresentada por Swindell (1997) de acordo com a técnica de normalização dos dados, descrita pela Equação 19:

$$DN_{ij} = \frac{D_{ij}}{\bar{D}_j} \quad (19)$$

em que, DN_{ij} - Dado normalizado no ponto i no ano j ; D_{ij} - Dado original no ponto i no ano j ; $\bar{D}_j$ - Dado médio para o ano j .

No processo de interpolação e construção dos mapas temáticos tridimensionais, foram utilizados o software ArcGIS® 10 e o software livre SGeMS® (REMY et al. 2009), o qual foi desenvolvido para cálculos e modelagem geoestatística tridimensional, no Laboratório de Engenharia de Recursos e Energia da Universidade de Stanford, Califórnia, EUA. O código é em C++ e roda interativamente sob Windows® e permite a visualização de dados volumétricos em quatro dimensões (três dimensões espaciais (x , y , z), e uma dimensão referente ao atributo (w)).

A interpolação aplicada à geração de mapas tridimensionais, processo utilizado neste trabalho, consiste da mesma forma que a interpolação bidimensional, ou seja, na complementação de pontos que definem a estrutura da imagem a partir de pontos já conhecidos nela. Contudo, os processos computacionais promovem a complementação de informações em três dimensões e permitem a obtenção de uma imagem em 3D utilizando um conjunto de imagens 2D (REMY et al. 2009).

Nas abordagens tridimensionais, todos os dados distribuídos no espaço podem ser usados para a estimativa de variáveis espaciais. Para tal, tornou-se necessária a construção de grids tridimensionais divididos em voxels (cubos) com tamanhos proporcionais à resolução desejada. A resolução foi estabelecida antes do início do processo de modelagem e considerou a relação entre resolução, necessidade de memória e capacidade de processamento do computador, em busca de um equilíbrio entre o desempenho e a acurácia.

Cada grid é caracterizado pelas coordenadas de sua origem (O_x , O_y e O_z), pelo tamanho dos voxels (S_x , S_y e S_z) e pelo número de voxels (n_x , n_y e n_z), exemplificado na Figura 16. Cada ponto amostral foi especificado com suas respectivas coordenadas (i) e este ponto, associado a um conjunto de variáveis (propriedades físicas dos frutos). Um banco de dados foi criado, em formato texto (.txt), a fim de relacionar os pontos amostrais (frutos) com suas coordenadas e variáveis.

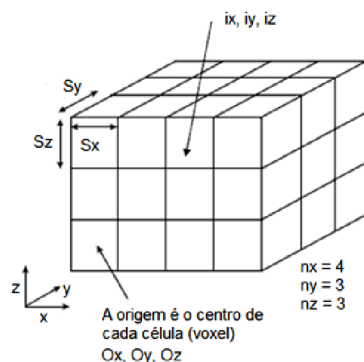


Figura 16 Representação de grid tridimensional.

Fonte: Adaptado de Remy et al. (2009).

O software SGeMS suporta dois formatos de arquivo para descrever as redes e os conjuntos de pontos: o formato GSLIB (Geostatistical Software Library) descrito por Deutsch e Journel (1998), e o formato binário SGeMS. O formato binário SGeMS é auto suficiente, ou seja, o usuário não precisa fornecer informações adicionais ao carregá-lo. Formatos binários têm duas vantagens principais a mais que ficheiros ASCII: ocupam menos espaço em disco e podem ser mais rapidamente carregados e salvos, mas há o inconveniente de falta de portabilidade entre as plataformas.

O formato GSLIB é um formato ASCII simples utilizado pelo software GSLIB e é organizado por linhas, conforme exemplo representado pela Figura 17. Este formato é o que foi utilizado neste trabalho, onde a primeira linha refere-se ao título da planilha, a segunda linha é o número de colunas existentes e, em seguida, o cabeçalho de cada coluna. As primeiras colunas devem ser as coordenadas (x, y e z). Neste exemplo, foram utilizados dados referentes aos atributos físicos e químicos de frutos de laranja.

```

A Triênio
15
Ano
Arvore
Fruto
Longitude (x)
Latitude (y)
Altitude (z)
Cota
Diâmetro
Massa fruto
Massa suco
Rendimento Suco
SST
ATT
SST/ATT
Vitamina C
2011 A 1 1.583 3.379 0.624 1.030 66.34 120.37 34.43 28.60 7.00 0.65 10.83 51.72
2011 A 2 2.023 3.209 0.934 1.340 75.37 218.66 88.05 40.27 8.50 0.64 13.31 55.44
2011 A 3 0.703 2.979 0.114 0.520 74.03 216.65 110.48 50.99 8.50 0.74 11.47 58.05
2011 A 4 2.903 2.429 1.264 1.670 82.39 285.63 95.64 33.48 8.00 0.84 9.53 64.00
2011 A 5 1.923 3.509 0.404 0.810 83.02 304.03 116.46 38.31 7.50 0.98 7.67 55.07
2011 A 6 1.623 3.549 0.144 0.550 64.02 126.83 48.18 37.99 8.00 0.72 11.15 51.35
2011 A 7 1.753 2.619 0.934 1.340 96.99 459.86 153.82 33.45 7.00 0.66 10.64 45.02
2011 A 8 1.853 2.759 1.604 2.010 79.64 260.16 98.67 37.93 9.00 0.91 9.93 54.70
2011 A 10 1.993 0.949 1.234 1.640 76.65 216.02 88.59 41.01 11.00 0.78 14.10 60.65
2011 A 11 2.963 1.789 0.844 1.250 84.34 313.08 131.57 42.02 9.00 0.73 12.28 49.67
2011 A 13 2.853 1.639 0.444 0.850 80.29 285.85 127.09 44.46 11.00 0.74 14.85 62.31
2011 A 14 2.623 1.369 0.924 1.330 74.59 218.41 90.24 41.32 9.00 1.06 8.52 73.12
2011 A 15 2.783 1.069 0.564 0.970 79.45 252.37 74.21 29.41 9.00 0.75 12.02 48.74
2011 A 16 1.253 1.019 0.984 1.390 81.20 269.12 88.49 32.88 10.00 1.05 9.54 57.30
2011 A 17 2.503 1.109 0.014 0.420 74.57 233.11 96.27 41.30 10.00 1.29 7.74 56.00
2011 A 18 2.833 1.799 0.894 1.300 75.04 212.87 65.96 30.99 8.50 0.71 11.98 49.86
2011 A 19 0.663 2.349 0.484 0.890 80.09 251.44 112.39 44.70 9.00 0.73 12.41 64.74
2011 A 20 0.553 1.549 0.504 0.910 64.11 154.72 74.29 48.02 11.00 0.71 15.51 72.93
2011 A 21 0.923 2.169 1.124 1.530 88.69 339.28 103.58 30.53 7.50 0.61 12.20 44.28
2011 A 22 1.103 1.229 1.174 1.580 82.05 293.83 120.08 40.87 9.00 0.61 14.83 54.70
2011 A 23 1.093 1.239 0.854 1.260 72.73 219.63 102.08 46.48 10.00 0.97 10.32 57.30
2011 A 24 0.453 2.799 0.294 0.700 71.12 173.98 64.46 37.05 8.00 0.72 11.15 53.58
2011 A 25 0.903 1.159 0.404 0.810 72.54 193.23 94.83 49.08 11.20 0.91 12.36 65.49
2012 A 1 0.246 1.806 0.718 1.124 80.33 281.42 133.31 47.37 9.50 0.94 10.13 51.84

```

Figura 17 Modelo de arquivo de texto (.txt) utilizado na realização das análises físicas dos frutos.

O formato de um arquivo de parâmetro é baseado no eXtended Markup Language (XML), uma linguagem de formatação padrão do World Wide Web Consortium (www.w3.org). Na Figura 18 está ilustrado um exemplo de um ficheiro de parâmetros. Em um arquivo de parâmetros, cada parâmetro é representado por um elemento XML. Um elemento consiste de uma abertura e de uma marca de fechamento, por exemplo, <parameters> e </parameters>, de um ou vários atributos.

```
<parameters>
<algorithm name="kriging" /> <Grid_Name value="Grid Parâmetros físicos A norm" region="" />
<Property_Name value="New_Diâmetro" /> <Kriging_Type type="Ordinary Kriging (OK)" />
<parameters /> </Kriging_Type> <do_block_kriging value="0" /> <npoints_x value="5" />
<npoints_y value="5" /> <npoints_z value="5" />
<Hard_Data grid="Parâmetros físicos A norm" region="" property="Diâmetro" />
<Min_Conditioning_Data value="5" /> <Max_Conditioning_Data value="50" />
<Search_Ellipsoid value="5 5 5 0 0 0" /> <AdvancedSearch use_advanced_search="0" />
</AdvancedSearch> <Variogram nugget="0" structures_count="1" />
<structure_1 contribution="0.005699" type="Spherical" />
<ranges max="1.5" medium="1" min="0.5" /> <angles x="0" y="0" z="0" />
</structure_1>
</Variogram>
</parameters>
```

Figura 18 Exemplo de ficheiro de parâmetros de estimação utilizados pelo software.

A interface do SGeMS é composta por três seções principais: o painel de algoritmos, o painel de visualização e o painel de comandos (Figura 19):

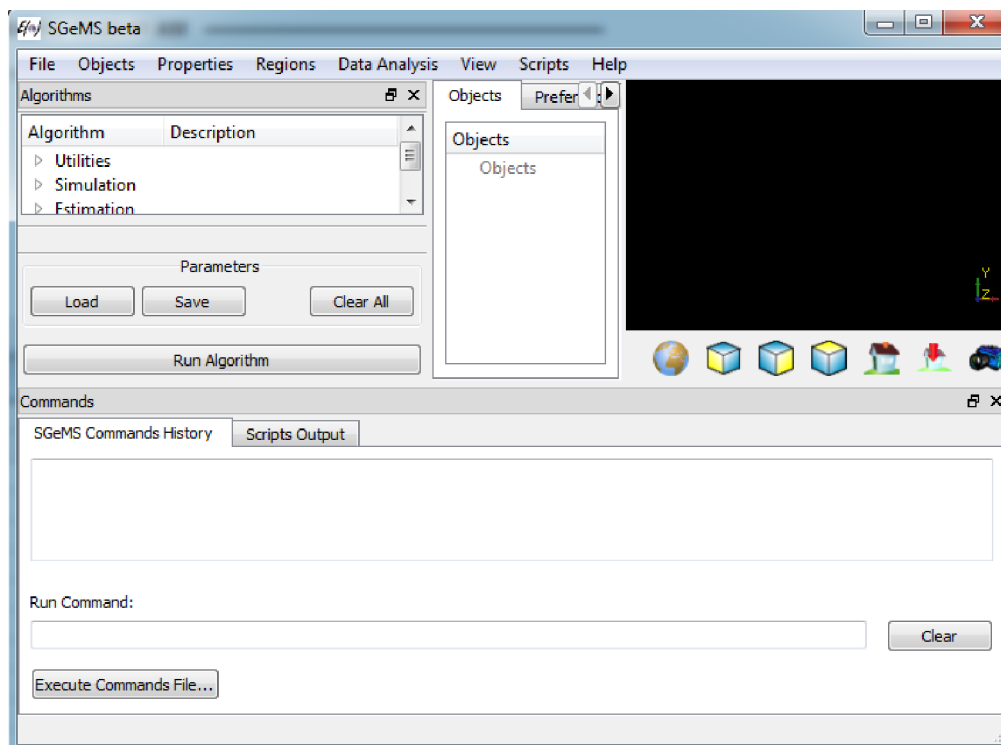


Figura 19 Página principal (interface) do SGeMS.

No painel de comandos, é possível introduzir manualmente os códigos de comandos com o auxílio do teclado e mouse a partir dos painéis algoritmos (Figura 20) e visualização.

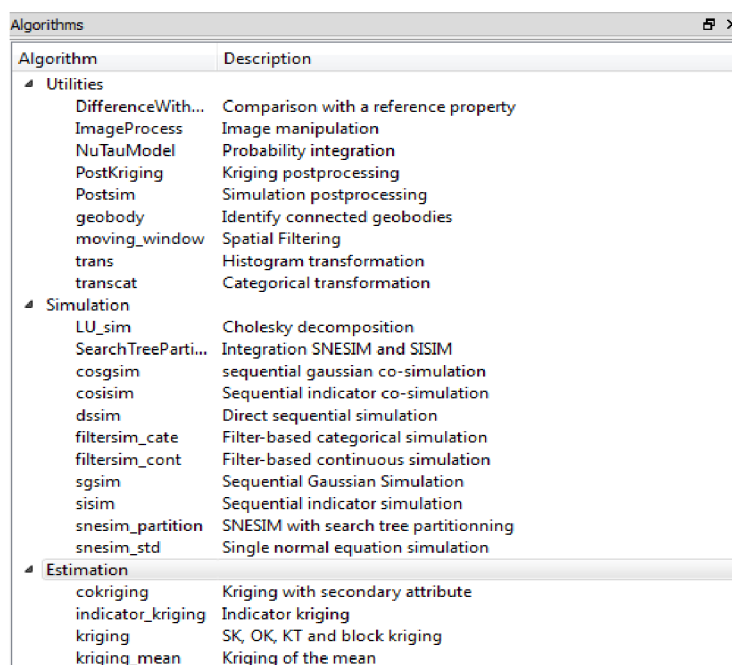


Figura 20 Pannel de algoritmos disponíveis no SGeMS.

Para inserir dados no software é necessária a abertura do arquivo texto através da opção Load Object e assim escolher o tipo de objeto (grid cartesiano ou point set). O caso em estudo é um point set (conjunto de pontos) onde se devem nomear o conjunto de pontos e especificar a localização das colunas das coordenadas, no caso 1, 2 e 3; x, y e z, respectivamente (Figura 21).

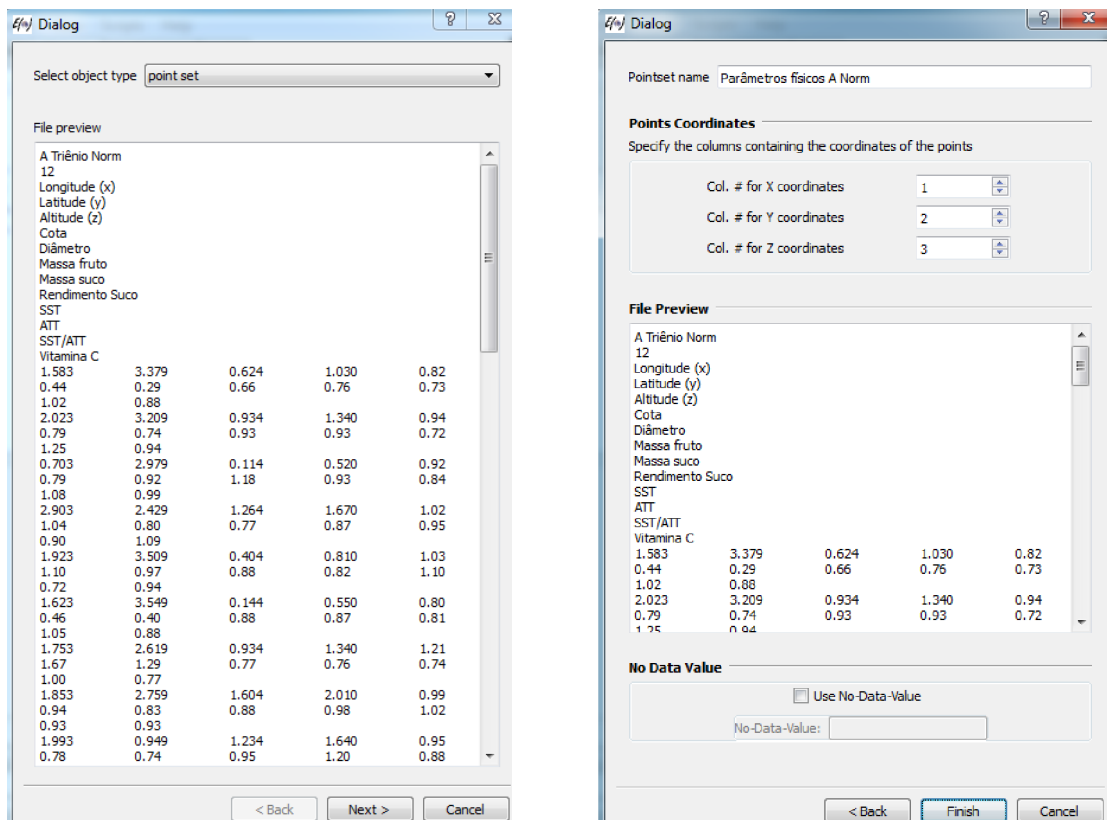


Figura 21 Menu de entrada de conjunto de dados.

Após a inserção de todas as informações necessárias, o software disponibiliza a visualização do conjunto de pontos com a possibilidade de visualização bidimensional da disposição dos pontos. Para mudança do plano de visualização, basta clicar com o mouse no respectivo plano a exibir, disponível abaixo da tela de visualização, que nesse caso está sendo visualizada no plano x, y. Para salvar o objeto, acessar menu Object e Save Object.

O software disponibiliza no menu *Data Analysis* a opção *Histogram* (histograma, número total de dados, média, mediana, variância, valor mínimo, valor máximo, primeiro e terceiro quartil), gráficos *QQ-plot*, *PP-plot* e *Scatter-plot* (gráfico de dispersão) e coeficiente de correlação (r).

No menu *Data Analysis*, a função variografia é disponibilizada para a confecção de semivariogramas omnidirecionais ou direcionais (0, 45, 90 e 135°) dos atributos em estudo. O software utiliza a convenção de direção cartesiana, ou seja, sentido anti-horário a partir do leste. Nesta fase, é necessária a entrada de parâmetros de cálculo (Figura 22) como o número de intervalos (*lags*), tamanho do intervalo (*lag separation*), largura de banda (*bandwidth*), limite superior e inferior (*head cutoff* e *tail cutoff*), patamar (*sill*) e o modelo de semivariograma (esférico, exponencial ou gaussiano). Os semivariogramas podem ser ajustados manualmente às várias direções estudadas.

The interface shows the 'Lags' section with the following values: Number of lags: 12, Lag separation: 0.2, Lag tolerance: 0.1. The 'Directions' section shows Number of directions: 5. Below these are diagrams illustrating the 'tol' (tolerance) and 'bandwidth' parameters. A table at the bottom lists five directions with their respective parameters and measure types.

	azimuth	dip	tolerance	bandwidth	measure type	head indic. cutoff	tail indic. cutoff
1	0	0	90	5	variogram		
2	0	0	22.5	1	variogram		
3	45	0	22.5	1	variogram		
4	90	0	22.5	1	variogram		
5	135	0	22.5	1	variogram		

Figura 22 Página de entrada de parâmetros de cálculo para geração dos semivariogramas.

Para a realização da krigagem, foi necessária a criação do grid tridimensional no qual devem ser especificados o tamanho, o número e as coordenadas mínimas dos blocos (voxels). Para tal, o acesso é pelo menu *Object - New grid cartesiano*. O resultado da criação do grid é ilustrado na Figura 23.

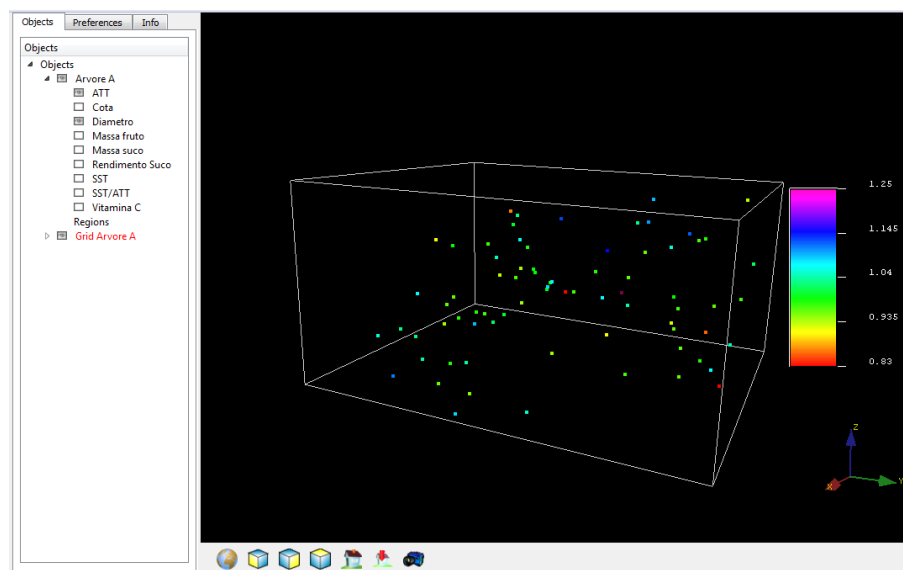


Figura 23 Visualização de grid tridimensional dos pontos.

Para definição do grid de cada árvore, levaram-se em consideração as coordenadas métricas locais nos três eixos, o número e tamanho (m) de voxels ilustrados na Tabela 02.

Tabela 02 Parâmetros de definição de grid tridimensional para nove árvores de laranja.Nova Laranjeiras, PR

Árvore	Coordenada mínima			Coordenada máxima			Número de voxels			Tamanho do voxel		
	Xmín	Ymín	Zmín	Xmáx	Ymáx	Zmáx	nX	nY	nZ	sX	sY	sZ
A				2,982	3,729	1,838	61	76	38	0,05	0,05	0,05
B				3,174	3,395	2,011	64	69	41	0,05	0,05	0,05
C				3,518	3,768	2,269	71	76	46	0,05	0,05	0,05
D				3,193	3,276	1,850	65	67	38	0,05	0,05	0,05
E		0,000		3,161	3,307	1,775	64	67	36	0,05	0,05	0,05
F				2,765	2,936	1,550	56	60	32	0,05	0,05	0,05
G				2,551	2,790	1,729	52	57	36	0,05	0,05	0,05
H				3,472	3,307	1,665	70	67	34	0,05	0,05	0,05
I				3,982	3,966	1,740	81	80	36	0,05	0,05	0,05

A partir da seção *Data Analysis – Variogram*, os semivariogramas experimentais (Figura 24) podem ser construídos nas direções usuais (0, 45, 90 e 135°), para verificar a existência de anisotropia. Verificada que nas diferentes direções, as semivariâncias se comportam de maneira semelhante, ou seja, apresentam padrões semelhantes de dependência espacial, logo indicam que não existe anisotropia, os semivariogramas omnidirecionais são construídos.

Na seção *Algorithms-Estimation*, estão disponíveis as opções: *cokriging*, *indicator_kriging*, *kriging* e *kriging_mean*. Após definir o estimador, define-se a partir de qual objeto e qual variável será feita a estimação, o elipsóide de busca para limitar o mínimo e o máximo de pontos vizinhos que serão usados para o cálculo de cada bloco, o alcance métrico da busca em cada eixo do elipsoide e o respectivo ângulo. Na aba *Variogram*, inserem-se os dados oriundos do estudo variográfico (*contribution*), podendo-se usar a variância dos dados, o modelo de semivariograma e o elipsóide de variografia.

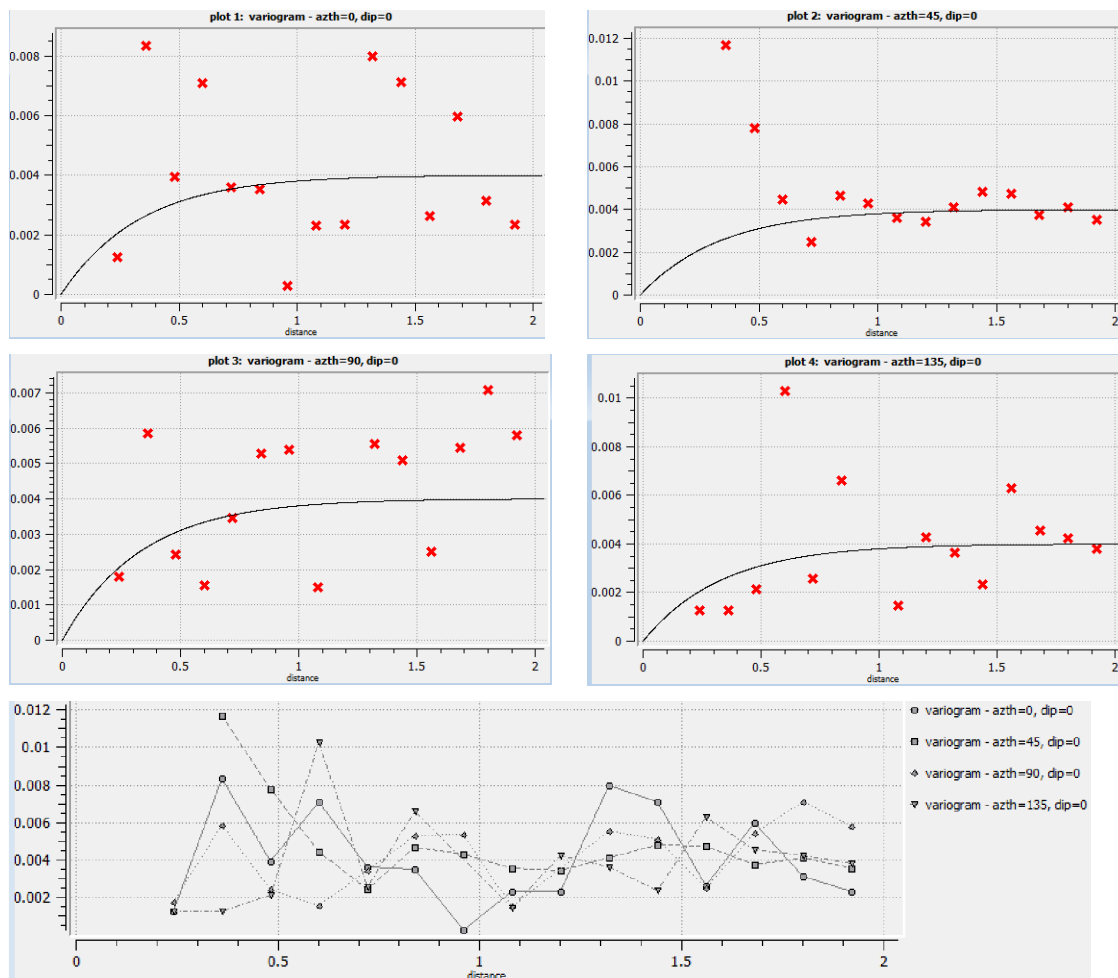


Figura 24 Semivariogramas direcionais em 0, 45, 90 e 135° graus.

O mapa tridimensional (Figura 25) é gerado a partir da opção *Run Algorithm*. Através da opção *Volume explorer*, é possível a análise do interior do modelo gerado, pela estratificação por cortes nos eixos x, y e z, de acordo com o número de blocos (voxels) gerados em cada direção.

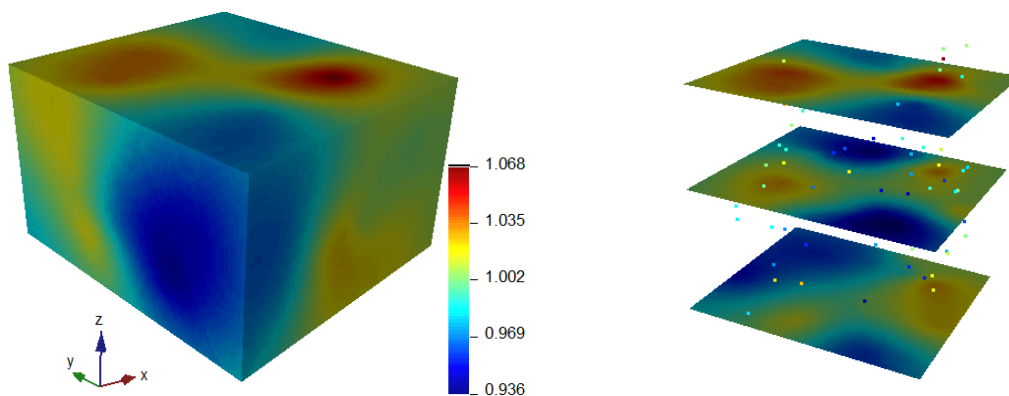


Figura 25 Mapa tridimensional e cortes no eixo z, gerados pelo software SGeMS (REMY et al. 2009).

I.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

I.5.1 Condições climáticas

Segundo Koller (2006), para a cultura da laranja, de acordo com os índices ideais para produção da floração até a colheita (outubro a maio), o ideal é que a precipitação pluviométrica acumulada esteja entre 1000 e 1800 mm e a temperatura esteja entre 19 e 25°C. As precipitações pluviométricas acumuladas desde os períodos de floração até a colheita dos frutos (Figura 26) para as safras de 2011, 2012 e 2013 foram respectivamente 1360, 1285 e 1529 mm, satisfazendo a condição mínima de 1000 mm sugerida pelo autor.

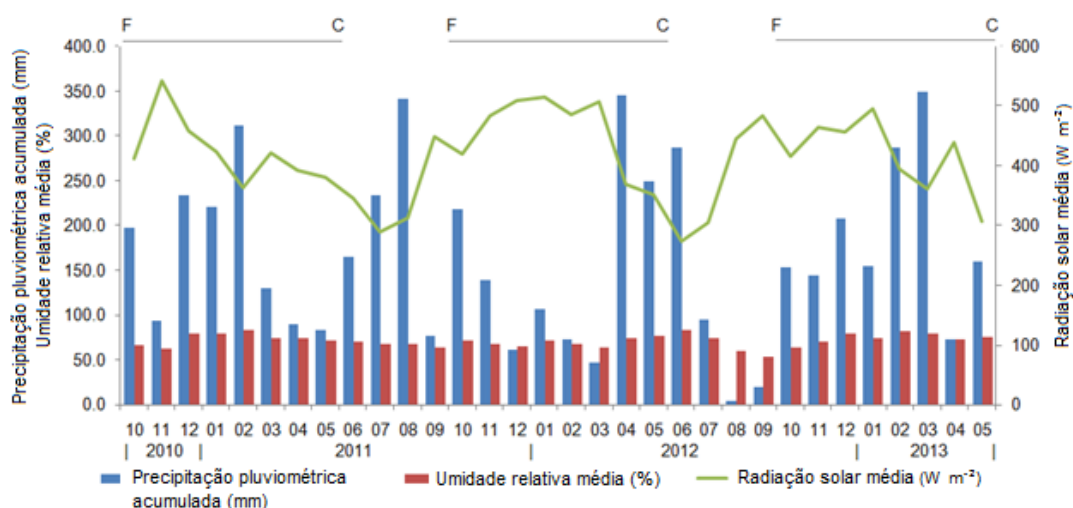


Figura 26 Gráfico da umidade relativa média (%), da precipitação acumulada (mm) e da radiação solar (W m^{-2}) em pomar de laranjas. Nova Laranjeiras, PR. F - início da floração, C - colheita dos frutos.

Fonte: adaptado de SIMEPAR - PR (2013).

Para a cultura de citros, o efeito da UR do ar é indireto, assim afeta a luminosidade, a temperatura do ar, a evapotranspiração e o ataque de doenças e insetos-pragas. Para Koller (2006), considerando os fatores positivos e negativos, pode-se admitir que as umidades relativas entre 40 e 60% são as mais satisfatórias. A umidade relativa (UR), desde o período da floração até a colheita dos frutos foi de 74, 70 e 74%, nas safras de 2011, 2012 e 2013 respectivamente, sendo consideradas acima dos limites desejáveis.

A radiação solar média diária desde o período da floração até à colheita dos frutos apresentou os valores mínimos de 363,9, 351,8 e 308,3 W m^{-2} , máximos de 542,9, 515,0 e 495,9 W m^{-2} e médios de 425,1, 455,9 e 417,5 W m^{-2} para as safras de 2011, 2012 e 2013, respectivamente.

Do período da floração até a colheita dos frutos, as temperaturas mínimas relativas registradas (Figura 27) foram de 6,8, 4,0 e 6,1 °C, máximas de 36,6, 33,8 e 34,8 °C, e temperaturas médias de 22,6, 20,4 e 22,5 °C, para as safras de 2011, 2012 e 2013,

respectivamente. As temperaturas médias nas três safras satisfazem a condição de estarem entre 19 a 25°C.

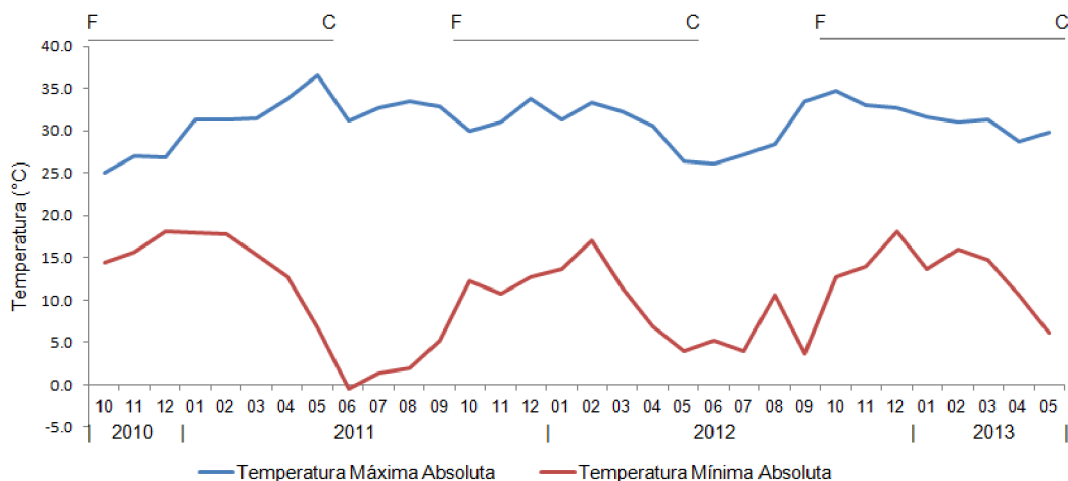


Figura 27 Gráfico da temperatura máxima absoluta (°C) e temperatura mínima absoluta (°C) em pomar de laranjas, Nova Laranjeiras, PR. F - início da floração, C - colheita dos frutos. Fonte: adaptado de SIMEPAR - PR (2013).

Durante o período de estudo, a velocidade mínima do vento foi de $0,9 \text{ ms}^{-1}$, máxima de $5,4 \text{ m s}^{-1}$, média de $2,4 \text{ m s}^{-1}$ e moda de $2,0 \text{ m s}^{-1}$. Para Koller (2006), ventos fracos ou brisas com velocidades não superiores a $2,8 \text{ m s}^{-1}$ são desejáveis para amenizar os efeitos maléficos de altas temperaturas no verão e remover o excesso de umidade no interior da copa das laranjeiras, a fim de reduzir a ocorrência de doenças. A predominância dos ventos (Figura 28a) ocorreu nas direções N, SE e E com 25,2, 23,5 e 18,2%, respectivamente.

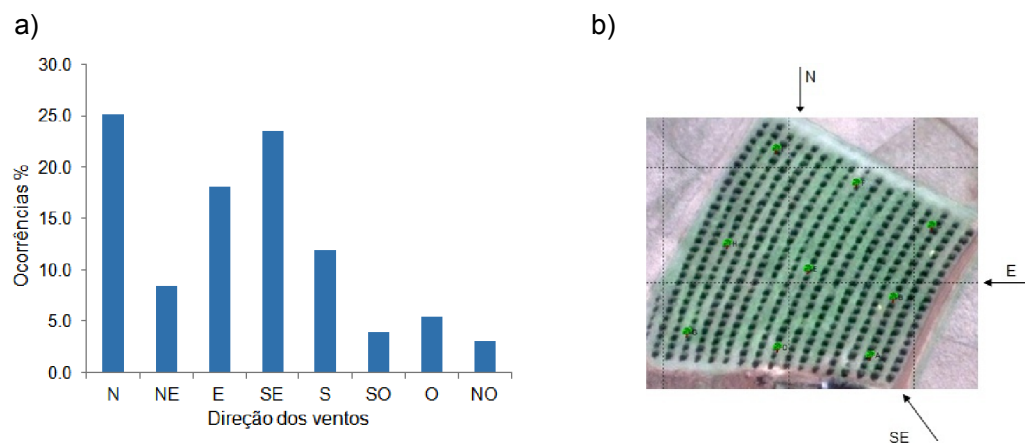


Figura 28 Gráfico da predominância dos ventos em % (a). Direções predominantes dos ventos (b) no período de outubro de 2010 a maio de 2013 em pomar de laranjas, Nova Laranjeiras, PR. Fonte: adaptado de SIMEPAR - PR (2013).

De acordo com os dados de velocidade de ventos no período de estudo, verifica-se que, em média, não atingiram velocidades superiores às desejáveis. No momento das colheitas dos frutos, que ocorreram no final do mês de maio dos anos em estudo, foi medida a incidência da radiação solar instantânea (Figura 29), com céu sem nuvens no horário logo

após o meio dia. As árvores foram delimitadas em quadrantes (NE, SE, SO e NO) a fim de caracterizar a predominância dos valores de radiação solar em relação aos frutos dispostos nas laranjeiras.

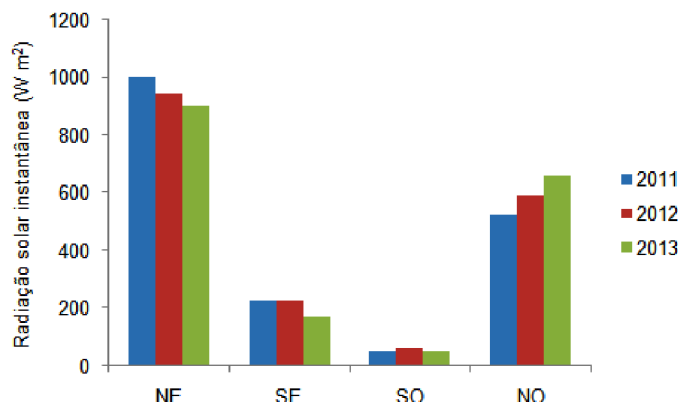
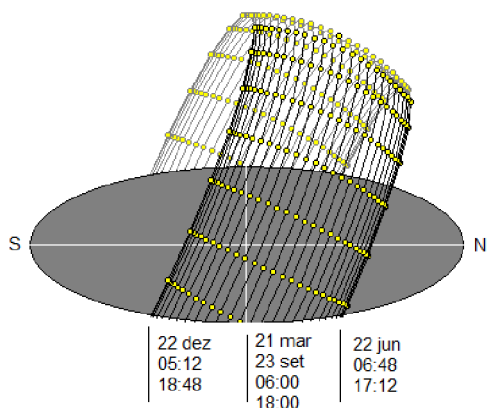


Figura 29 Gráfico da radiação solar instantânea relativa aos quadrantes (NE, SE, SO e NO) das árvores nos anos de 2011, 2012 e 2013 em pomar de laranjas. Nova Laranjeiras, PR. Fonte: adaptado de SIMEPAR - PR (2013).

As médias da radiação solar instantânea no triênio de estudo foram de 951, 209, 56 e 592 $W m^{-2}$, respectivamente nos quadrantes NE, SE, SO e NO, com maiores valores em NE e NO. Na Figura 30a, pode-se visualizar o movimento do sol para a latitude aproximada de 25,38° S (pomar), nas diversas estações do ano e horário do nascer e por do sol. O mapa planialtimétrico do pomar de laranjas está ilustrado na Figura 30b, em coordenadas UTM (métricas).

a)



b)

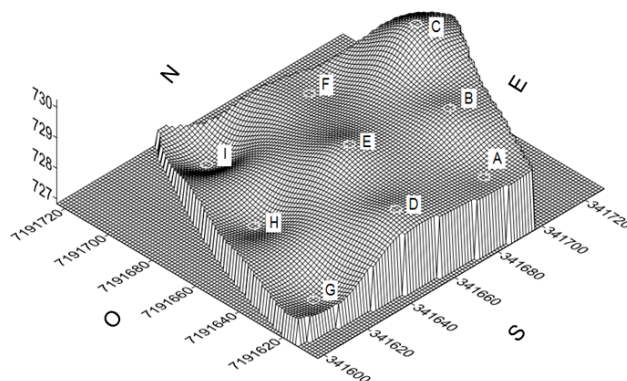


Figura 30 Ilustração do movimento diário do sol nas diversas estações do ano para a latitude de 25,5° S (a). Mapa planialtimétrico do pomar de laranjas (b), Nova Laranjeiras, PR. Fonte: adaptado de <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/softwares/sunpath>.

De acordo com Borges e Souza (2009), áreas com solos argilosos e declive maior que 18% ou solos arenosos e declive maior que 15% não são adequados para a instalação de pomares cítricos, devido ao risco de erosão e degradação do solo. Considerando que a menor altitude é de 727 m na árvore I e a maior altitude é de 730 m na árvore C, com declividade média aproximada de 5,5%, não foram observados problemas de erosão.

I.5.2 Análise estatística das propriedades químicas do solo

Na Tabela 03 são apresentadas as análises estatísticas descritivas para os atributos químicos do solo, relativas ao triênio (2011 a 2013) nas nove árvores analisadas.

Tabela 03 Estatísticas descritivas dos atributos químicos do solo, relativas ao triênio (2011, 2012 e 2013), na profundidade de 0-40 cm em pomar de laranjas. Nova Laranjeiras, PR.

Atributo químico do solo	Árvore	Estatística descritiva				Atributo químico do solo	Árvore	Estatística descritiva			
		Médias do triênio (2011 - 2013)						Médias do triênio (2011 - 2013)			
		Mínimo	Máximo	Média	CV(%)			Mínimo	Máximo	Média	CV(%)
Cobre (mg dm ⁻³)	A	2,06	8,28	5,08	43,28	pH	A	5,00	7,20	6,03	11,89
	B	2,61	9,09	6,22	42,74		B	4,30	5,30	4,82	7,36
	C	3,10	9,92	6,04	39,88		C	4,30	5,30	4,88	7,37
	D	3,60	12,43	7,96	38,29		D	4,50	5,70	5,15	8,75
	E	3,28	11,04	6,78	41,22		E	4,40	5,20	4,80	6,04
	F	3,33	9,89	6,64	39,38		F	4,50	5,10	4,78	4,84
	G	5,36	13,44	8,76	35,16		G	4,30	4,90	4,63	4,66
	H	4,73	12,08	7,50	33,77		H	4,40	5,20	4,85	5,49
	I	3,68	10,94	6,84	38,50		I	4,70	5,20	4,98	4,29
Geral	3,53	10,79	6,87	39,14	Geral	4,49	5,46	4,99	6,74		
Zinco (mg dm ⁻³)	A	0,97	3,33	2,03	50,64	Carbono (g kg ⁻¹)	A	26,88	44,42	36,01	18,74
	B	0,74	3,46	1,80	55,49		B	30,00	49,48	40,07	17,74
	C	0,84	2,47	1,63	39,67		C	28,05	47,53	37,92	17,72
	D	0,73	2,77	1,36	56,08		D	22,99	41,30	32,44	19,54
	E	0,64	3,56	1,76	59,89		E	28,05	40,13	35,20	14,00
	F	1,00	4,73	2,23	68,31		F	28,05	46,36	36,01	17,83
	G	0,50	2,80	1,59	52,07		G	22,99	37,79	31,72	17,56
	H	0,75	2,41	1,47	42,13		H	26,10	46,36	35,68	18,84
	I	0,69	4,66	1,71	85,85		I	23,77	40,13	32,53	17,80
Geral	0,76	3,35	1,73	56,68	Geral	26,32	43,72	35,29	17,75		
Ferro (mg dm ⁻³)	A	12,00	50,00	28,00	49,07	Cálcio (cmol _c dm ⁻³)	A	6,25	16,98	12,18	34,32
	B	14,00	59,00	35,83	50,89		B	3,38	10,53	6,15	42,65
	C	16,00	65,00	38,33	50,06		C	2,79	9,93	6,19	45,90
	D	12,00	75,00	40,83	56,39		D	3,27	10,67	6,69	45,34
	E	18,00	85,00	43,00	59,24		E	2,60	9,07	5,76	46,67
	F	17,00	62,00	37,83	47,09		F	2,80	9,70	5,50	47,34
	G	18,00	81,00	42,00	56,86		G	2,26	6,81	4,57	40,86
	H	19,00	74,00	42,67	46,61		H	2,61	9,65	5,78	46,42
	I	11,00	59,00	36,50	54,32		I	2,84	8,71	6,05	40,22
Geral	15,22	67,78	38,33	52,28	Geral	3,20	10,23	6,54	43,30		
Manganês (mg dm ⁻³)	A	31,00	107,00	65,30	45,13	Magnésio (cmol _c dm ⁻³)	A	1,22	3,43	2,33	40,82
	B	13,00	65,00	45,80	54,87		B	1,03	3,04	1,95	44,96
	C	11,00	52,00	37,33	49,93		C	0,94	3,91	2,36	50,76
	D	15,00	77,00	49,80	53,84		D	1,20	3,81	2,35	43,45
	E	10,00	51,00	35,33	52,05		E	0,79	2,72	1,69	41,73
	F	12,00	56,00	35,50	53,56		F	0,87	3,12	1,90	50,42
	G	15,00	74,00	45,17	54,19		G	0,65	1,56	1,07	36,93
	H	18,00	72,00	48,17	47,08		H	0,75	2,79	1,72	47,36
	I	17,00	68,00	49,17	49,48		I	0,88	2,63	1,93	37,66
Geral	15,78	69,11	45,73	51,13	Geral	0,93	3,00	1,92	43,79		
Fósforo (mg dm ⁻³)	A	1,50	10,60	5,55	61,53	Potássio (cmol _c dm ⁻³)	A	0,12	0,34	0,23	43,56
	B	2,60	9,20	5,47	45,22		B	0,20	0,50	0,33	40,23
	C	5,40	11,40	8,47	29,13		C	0,18	0,66	0,40	42,97
	D	3,90	11,40	6,70	45,16		D	0,14	0,44	0,24	45,11
	E	3,00	11,10	6,23	47,66		E	0,19	0,47	0,31	32,11
	F	2,60	9,40	4,97	47,01		F	0,27	0,67	0,45	36,62
	G	2,10	10,70	5,12	64,86		G	0,16	0,38	0,26	30,13
	H	1,90	8,70	4,82	53,67		H	0,22	0,61	0,34	40,97
	I	3,10	8,10	6,07	29,03		I	0,22	0,68	0,44	38,01
Geral	2,90	10,07	5,93	47,03	Geral	0,19	0,53	0,33	38,86		

Seguindo a classificação do coeficiente de variação (CV) sugerida por Pimentel Gomes e Garcia (2002), verifica-se que os teores de pH em todas as amostras (exceto da amostra A, que teve CV médio) foram classificados com baixo CV. Os teores de C tiveram médio CV em todas as amostras. Os teores de P nas árvores C e I tiveram classificação como alto CV. Todos os demais atributos do solo foram classificados como muito alto CV nas demais amostras.

Na Tabela 04 estão apresentados os níveis de interpretação dos atributos químicos do solo e a quantidade percentual encontrada em cada nível, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm.

Tabela 04 Níveis de interpretação dos atributos químicos do solo e a quantidade percentual encontrada em cada nível em pomar de laranjas, no triênio (2011 a 2013), Nova Laranjeiras, PR.

Atributos químicos do solo	Unidade	Profundidade (cm)	Níveis de interpretação (triênio 2011 - 2013)				
			Muito baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito alto
Fósforo	(mg dm ⁻³)	0 - 20		≤ 3,0	3,1 – 6,0	6,1 – 9,0	> 9,0
		20 - 40		22%	11% 67%	67% 11%	22%
Potássio	(cmol _c dm ⁻³)	0 - 20		≤ 0,10	0,11 – 0,20	0,21 – 0,30	>0,30
		20 - 40			22%	22% 33%	78% 45%
Cálcio	(cmol _c dm ⁻³)	0 - 20		≤ 2,0	2,1 – 4,0	>4,0	
		20 - 40			11%	100% 89%	
Magnésio	(cmol _c dm ⁻³)	0 - 20	<0,40	0,40 – 0,60	0,61 – 0,80	>0,80	
		20 - 40			11%	100% 89%	
Carbono	(g kg ⁻¹)	0 - 20	<9,0	9,0 – 14,0	15,0 – 20,0	21,0 – 35,0	>35,0
		20 - 40				22% 78%	78% 22%
Cobre	(mg dm ⁻³)	0 - 20		<0,8	0,8 – 1,7	>1,7	
		20 - 40				100% 100%	
Zinco	(mg dm ⁻³)	0 - 20		<3,0	3,0 – 7,0	>7,0	
		20 - 40		89% 100%	11%		
Ferro	(mg dm ⁻³)	0 - 20		<15,0	15,0 – 40,0	>40,0	
		20 - 40			89% 44%	11% 56%	
Manganês	(mg dm ⁻³)	0 - 20		<15,0	15,0 – 30,0	>30,0	
		20 - 40				100% 100%	
pH		0 - 20	≤ 4,3	4,4 – 5,0	5,1 – 5,5	5,6 – 6,0	>6,0
		20 - 40		44% 89%	44% 11%		11%

Fonte: Adaptado de Costa e Oliveira (2001).

Ao se analisar o teor de fósforo (P), observa-se que aproximadamente 78% do nutriente se encontram nas faixas média e alta nas duas profundidades, indicando que os teores do nutriente no solo satisfazem a necessidade da planta. Panzenhagen et al., (2008) encontraram valores semelhantes justificados provavelmente pela baixa mobilidade do P no solo ou a reduzida exportação desse nutriente pelas colheitas. Segundo Malavolta et al. (1997), a absorção do P é dependente do pH do solo, apesar das quantidades de P requeridas pela planta cítrica serem bem menores quando comparadas com as de cálcio,

nitrogênio e potássio. Em solos tropicais, onde o seu teor é muito baixo, o P é um fator limitante para a produção.

O potássio (K) é essencial para a translocação de açúcares e para a formação de amido (MALAVOLTA et al., 1997). A análise revela que o teor de K no solo se concentra, na sua maioria, nos níveis alto e muito alto. Segundo Magalhães (2006), a deficiência de K pode influenciar significativamente tanto a qualidade quanto o rendimento dos frutos, pois é o elemento presente em todos os tecidos no fruto. Suszek (2011), trabalhando em pomar de laranja da variedade Monte Parnaso, encontrou valores médios de $0,69 \text{ cmol}_c\text{dm}^{-3}$ para o ano de 2009 e $0,53 \text{ cmol}_c\text{dm}^{-3}$ para o ano de 2010, valores considerados muito elevados, segundo a classificação de Costa e Oliveira (2001).

As funções do cálcio (Ca) na planta estão relacionadas à parede celular como constituinte da mesma. Na laranjeira, a concentração de Ca na folha é maior do que todos os demais nutrientes (MALAVOLTA et al., 1997). A grande maioria dos valores encontrados através da análise concentra-se no nível alto, indicando que não há deficiência do nutriente no solo. Porém, Koller (2006) afirma que as altas concentrações de Ca podem inibir a absorção de magnésio (Mg) e K. A deficiência de K tem como consequência a redução no tamanho dos frutos.

O magnésio faz parte da molécula da clorofila. Os resultados encontrados foram semelhantes ao Ca, ou seja, na grande maioria, os teores foram classificados como alto e semelhantes ao encontrado por Suszek (2011), com valores de $1,18$ e $1,81 \text{ cmol}_c\text{dm}^{-3}$ para os anos de 2009 e 2010, respectivamente.

A concentração de C (carbono orgânico) foi classificada como alta a muito alta, cuja concentração muito alta está na profundidade de 0-20 cm, provavelmente devido à grande quantidade de matéria orgânica sobre o solo, advinda do sistema de cultivo utilizado pelo produtor. Resultados do teor de C semelhantes foram encontrados por Nicolau (2013), em solo cultivado com laranja da variedade Monte Parnaso, neste mesmo pomar em estudo.

Nas análises de solo realizadas durante o experimento, observou-se que nos três anos, a concentração de cobre (Cu) mostrou-se alta, fato que pode estar associado à presença do micronutriente em diversos fungicidas utilizados para o controle de doenças nos citros. Segundo Malavolta et al. (1997), o cobre participa dos processos de fotossíntese, respiração e regulação hormonal. Entretanto, os sintomas da toxidez do cobre podem se manifestar pela redução do crescimento, queda das folhas, diminuição da frutificação e do tamanho dos frutos (KOLLER, 2006).

O zinco (Zn) participa dos processos de respiração, controle hormonal e síntese de proteínas. Os teores de Zn foram classificados como baixo segundo a classificação da Tabela 04. A carência de Zn é frequente em solos brasileiros e baixos teores de Zn podem ser devido à aplicação de adubação fosfatada (COSTA e OLIVEIRA, 2001), por ser fixado pela matéria orgânica ou imobilizado temporariamente pelos microrganismos do solo ou

ainda pela elevada disponibilidade de P (OLSEN, 1972; MALAVOLTA et al., 1997).

O ferro (Fe) participou processos de fotossíntese, respiração e assimilação de nitrogênio e de enxofre (MALAVOLTA et al., 1997). A análise revela que na profundidade de 0-20 cm, 89% do teor de Fe são classificados como médios, enquanto na profundidade de 20-40 cm, 56% do teor de Fe são classificados como altos. Os teores de Fe variaram de 28,0 a 42,0 mg dm⁻³, valores inferiores encontrados por Souza (2006) quando estudou a variabilidade espacial dos atributos do solo com a produtividade do café orgânico e convencional, cujos valores de concentração de Fe foram em torno de 74mg dm⁻³.

Segundo Malavolta et al. (1997), o manganês (Mn) participou processos de fotossíntese, respiração e síntese de proteínas. Os teores de Mn (100%) foram classificados como altos, provavelmente causados pela pouca aeração do solo, pela compactação do solo e pelo excesso de umidade, segundo Costa e Oliveira (2001), ou pela utilização de praguicidas e/ou fertilizantes em que o Mn é constituinte comum (PRATES et al., 2011).

Para o pH, as concentrações foram classificadas como baixa e média e compreendidas entre 4,4 a 5,5. Segundo Costa e Oliveira (2001), a faixa ideal de pH (CaCl) está entre 5,5 a 6,5 onde há maior disponibilidade dos nutrientes para as plantas. Considerando que apenas 11% dos valores ficaram compreendidos entre 5,1 a 5,5 (médio) na profundidade de 20-40 cm, pode-se concluir que o pH do solo não está adequado visto que Quaggio et al., (2006) afirmam que o valor do pH ideal para a cultura cítrica é de 5,5. Suszek (2010) observou que os valores do pH durante o seu experimento com laranjas também estavam abaixo do ideal (5,5). Auler et al. (2008) encontraram valores semelhantes em pomar de laranja Pera no Noroeste do estado do Paraná, com valores de pH que variaram de 3,6 a 5,7. Em experimento em citros conduzido por Souza et al. (2012), foi verificado que o pH variou de 5,6 a 6,3.

1.5.3 Análise estatística das propriedades físicas dos frutos

Os diâmetros (D) dos frutos (Tabela 05) apresentaram, no triênio 2011, 2012 e 2013, CV baixo em todas as árvores analisadas, indicando homogeneidade dos conjuntos de dados. O menor D analisado foi de 59,62 mm e o maior de 100,34 mm, com MF de 119,04 g e 517,26 g, respectivamente. O D médio dos frutos analisados foi de 81,9 mm, valor próximo ao encontrado (81,6 mm) por Nicolau (2012) e pouco inferior ao encontrado por Suszek (2010) que foi de 85 mm, no mesmo pomar de estudo deste trabalho. Todos os dados tiveram distribuição normal e apenas o conjunto de dados da árvore I apresentou coeficiente de curtose leptocúrtica, os demais apresentaram curtose mesocúrtica.

Para a massa dos frutos (MF), o CV foi classificado como médio e alto. Suszek (2010) obteve resultados de CV baixo e médio para a massa dos frutos nos anos de 2009 e 2010 com a cultura da laranja Monte Parnaso. Schafer et al. (2001) encontraram valores

médios de massa dos frutos de 268,00 g em laranjas Monte Parnaso, enquanto neste trabalho a média de massa dos frutos variou de 271,80 a 319,26 g. Os dados apresentaram distribuição normal e mesocúrtica, com exceção do conjunto de dados da árvore B (leptocúrtica) e distribuição simétrica, exceção dos conjuntos B e C (assimetria positiva).

Tabela 05 Estatísticas descritivas dos atributos físicos em pomar de laranjas, no triênio 2011, 2012 e 2013, Nova Laranjeiras, PR.

Atributos físicos dos frutos	Árvore	Estatísticas no triênio (2011-2013)									
		N	Média	DP	CV(%)	Mínimo	Mediana	Máximo	Assimetria	Curtose	Normal*
Diâmetro (D) (mm)	A	75	80,42	6,07	7,54	64,02	80,12	96,99	-0,14(a)	0,94(A)	Sim
	B	80	79,56	5,80	7,30	67,96	79,96	99,07	0,30(a)	0,44(A)	Sim
	C	80	81,36	5,53	6,79	68,19	81,13	96,32	0,23(a)	0,26(A)	Sim
	D	80	82,19	5,68	6,91	68,27	82,00	97,00	0,12(a)	0,05(A)	Sim
	E	76	81,43	5,82	7,14	63,19	81,95	91,48	-0,71(c)	0,74(A)	Sim
	F	79	82,82	5,83	7,04	66,59	83,93	95,00	-0,50(a)	0,45(A)	Sim
	G	82	82,15	6,88	8,38	66,20	82,38	100,34	0,20(a)	0,38(A)	Sim
	H	83	83,73	7,07	8,44	59,62	84,30	99,19	-0,61(c)	0,71(A)	Sim
	I	80	83,18	5,71	6,87	63,29	82,90	97,51	-0,22(a)	1,54(C)	Sim
	Geral	715	81,89	6,17	7,54	59,62	81,91	100,34	-0,11(a)	0,40(A)	Sim
Massa do fruto (MF) (g)	A	75	275,64	61,77	22,41	120,37	265,54	459,86	0,31(a)	0,96(A)	Sim
	B	80	271,80	56,64	20,84	163,21	269,57	492,66	0,70(b)	1,69(C)	Sim
	C	80	281,98	51,13	18,13	154,60	280,73	445,84	0,53(b)	1,04(A)	Sim
	D	80	290,37	54,42	18,74	184,89	282,38	422,64	0,27(a)	-0,44(A)	Sim
	E	76	279,61	56,89	20,35	130,35	284,15	435,58	-0,10(a)	0,59(A)	Sim
	F	79	304,28	61,05	20,06	165,63	304,09	456,72	0,08(a)	-0,08(A)	Sim
	G	82	298,71	74,87	25,06	147,83	301,66	517,26	0,46(a)	0,51(A)	Sim
	H	83	319,26	73,46	23,01	119,04	320,46	461,26	-0,24(a)	-0,40(A)	Sim
	I	80	310,60	64,20	20,67	141,49	309,02	497,58	0,45(a)	1,05(A)	Sim
	Geral	715	292,74	63,87	21,82	119,04	288,81	517,26	0,35(a)	0,42(A)	Não
Massa do suco (MS) (g)	A	75	119,58	30,14	25,21	34,43	120,08	203,89	0,01(a)	0,96(A)	Sim
	B	80	121,57	25,73	21,16	59,92	118,85	205,83	0,39(a)	0,82(A)	Sim
	C	80	128,00	26,03	20,34	66,47	127,55	195,56	0,33(a)	0,27(A)	Sim
	D	80	126,58	25,01	19,76	73,40	126,10	190,10	0,20(a)	-0,27(A)	Sim
	E	76	121,95	27,18	22,29	59,07	125,79	189,17	-0,01(a)	0,03(A)	Sim
	F	79	129,01	29,43	22,81	55,53	125,22	206,51	0,23(a)	0,22(A)	Sim
	G	82	131,74	34,60	26,26	60,57	135,91	222,65	0,14(a)	-0,05(A)	Sim
	H	83	144,18	36,08	25,02	56,27	145,11	221,97	0,04(a)	-0,72(A)	Sim
	I	80	135,85	27,65	20,35	77,15	136,60	217,19	0,51(a)	0,42(A)	Sim
	Geral	715	128,91	30,15	23,89	34,43	127,80	222,65	0,29(a)	0,25(A)	Não
Rendimento de suco (RS) (%)	A	75	43,32	5,49	12,68	28,60	43,03	52,98	-0,67(c)	0,30(A)	Não
	B	80	44,87	4,43	9,88	36,00	45,14	56,55	0,01(a)	-0,80(B)	Não
	C	80	45,38	4,20	9,25	35,97	45,83	55,05	-0,09(a)	-0,21(A)	Sim
	D	80	43,71	4,34	9,93	33,51	43,70	55,41	0,29(a)	0,13(A)	Sim
	E	76	43,70	4,76	10,90	31,37	43,46	52,69	-0,27(a)	-0,46(A)	Sim
	F	79	42,46	5,02	11,82	26,32	43,01	50,97	-0,78(c)	0,66(A)	Sim
	G	82	44,07	4,09	9,29	33,27	43,80	53,97	-0,03(a)	-0,29(A)	Sim
	H	83	45,30	5,17	11,42	26,54	45,24	54,72	-0,65(c)	0,91(A)	Sim
	I	80	44,00	4,22	9,59	32,80	44,77	54,53	-0,37(a)	-0,09(A)	Sim
	Geral	715	44,11	4,71	10,68	26,32	44,26	56,55	-0,38(a)	0,34(A)	Não

D: diâmetro equatorial do fruto; MF: massa do fruto; MS: massa do suco; RS: rendimento de suco.

*Teste de normalidade - Anderson-Darling e Kolmogorov-Smirnov; DP:desvio padrão; CV:coeficiente de variação; Assimetria - distribuição simétrica (a), assimetria positiva (b), assimetria negativa (c); Curtose - mesocúrtica (A), platicúrtica (B), leptocúrtica (C).

A massa do suco variou de 34,4 g a 222,6g com média geral de 128,7 g. Todos os conjuntos de dados apresentaram distribuição normal, simétrica e mesocúrtica e CV médio e alto. O rendimento do suco variou de 26,32 a 56,55%, com média próxima a 44%, valores inferiores ao encontrado por Lemos et al. (2012) que obtiveram média de 61% de rendimento de suco com a cultivar Pera Rio e próximos ao encontrado por Nicolau (2012) cujo rendimento aproximado foi de 45,4%. Os valores de CV tenderam a ficar na zona de transição entre baixo e médio.

Os valores médios dos atributos físicos nos terços basal, intermediário e apical são apresentados na Tabela 06, nas nove árvores em estudo. Para o diâmetro, os valores variaram de 79,8 a 83,5 mm; 78,6 a 83,9 mm e 81,1 a 85,0 mm nos terços basal, intermediário e apical, respectivamente.

Tabela 06 Valores médios dos atributos físicos de frutos, com relação às suas posições nos terços em pomar de laranjas, no triênio 2011, 2012 e 2013, Nova Laranjeiras, PR.

Árvore	Terço	D (mm)	MF (g)	MS (g)	RS (%)
A	basal	79,82	269,32	117,24	43,65
	intermediário	80,12	271,11	117,20	43,06
	apical	82,06	295,69	128,27	43,15
B	basal	79,77	275,09	121,04	44,26
	intermediário	78,58	261,86	116,96	44,69
	apical	81,09	286,71	129,77	45,57
C	basal	81,78	292,24	130,21	44,73
	intermediário	79,67	266,63	121,34	45,51
	apical	83,37	294,33	135,40	45,78
D	basal	82,08	295,10	124,78	42,66
	intermediário	82,09	289,14	128,17	44,45
	apical	82,49	286,33	126,22	43,81
E	basal	80,83	274,73	117,00	42,65
	intermediário	81,91	285,03	125,26	44,04
	apical	81,61	278,14	125,01	45,10
F	basal	81,82	291,76	119,37	41,40
	intermediário	83,29	309,56	136,29	44,04
	apical	83,25	310,75	129,67	41,47
G	basal	80,50	278,12	124,59	44,47
	intermediário	82,54	305,78	134,73	44,11
	apical	83,67	311,42	134,63	43,32
H	basal	83,51	317,73	141,16	44,62
	intermediário	82,87	315,48	142,16	45,14
	apical	84,96	325,19	149,21	46,08
I	basal	82,19	296,34	128,66	43,85
	intermediário	83,87	319,85	136,73	42,95
	apical	83,41	314,91	142,09	45,28
Geral	basal	81,37	287,47	124,52	43,51
	intermediário	81,57	290,93	128,61	44,27
	apical	82,98	301,90	134,42	44,53

D: diâmetro equatorial do fruto; MF: massa do fruto; MS: massa do suco; RS: rendimento do suco.

Quanto à massa do fruto, os valores variaram de 269,3 a 317,7; 261,9 a 319,8 e 278,1 a 325,5 g nos terços basal, intermediário e apical, respectivamente. Com relação à massa do suco, os valores variaram de 117,0 a 141,2; 117,0 a 142,2 e 125,0 a 149,2 g nos terços basal, intermediário e apical, respectivamente; e para o rendimento de suco, os valores variaram de 41,4 a 44,7; 43,0 a 45,5 e de 41,5 a 46,1% nos terços basal, intermediário e apical, respectivamente. Resultados semelhantes foram encontrados por Lemos et al. (2012), que encontraram pequenas diferenças entre os frutos colhidos nas

diversas partes da copa, tendo rendimento médio de 61% de suco, valores superiores ao encontrado neste trabalho. Os frutos de laranja da variedade Valência, consideradas fruto de mesa, possuem maior porcentagem de casca e bagaço do que as laranjas específicas para produção de suco.

1.5.4 Análise de correlação

Na Tabela 07, estão apresentados os dados de correlação linear de Pearson para as nove árvores analisadas, dos atributos físicos dos frutos e dos atributos químicos do solo no triênio 2011, 2012 e 2013.

Tabela 07 Correlação linear de Pearson para as coordenadas geográficas das árvores, dos atributos físicos dos frutos e dos atributos químicos do solo em pomar de laranjas, Nova Laranjeiras, PR

	x	y	z	D	MF	MS	RS	Cu	Zn	Fe	Mn	P	C	pH	H+Al ³	Ca	Mg	Al
D	-0.64	0.53	-0.67															
MF	-0.66	0.53	-0.79	0.96														
MS	-0.61	0.48	-0.68	0.87	0.93													
RS	0.03	0.02	0.16	-0.07	0.00	0.36												
Cu	-0.84	-0.13	-0.48	0.55	0.53	0.52	0.06											
Zn	0.50	0.25	0.10	-0.27	-0.21	-0.42	-0.63	-0.62										
Fe	-0.56	0.13	-0.13	0.52	0.42	0.48	0.26	0.79	-0.58									
Mn	-0.12	-0.49	-0.29	-0.19	-0.09	-0.09	-0.06	-0.25	-0.05	-0.66								
P	0.50	0.08	0.64	-0.21	-0.40	-0.25	0.35	-0.23	-0.31	0.02	-0.24							
C	0.79	0.08	0.66	-0.60	-0.51	-0.35	0.35	-0.68	0.37	-0.33	-0.16	0.14						
pH	0.28	-0.41	0.09	-0.34	-0.35	-0.41	-0.28	-0.60	0.25	-0.81	0.83	0.03	0.03					
H+Al ³	-0.10	0.36	0.04	0.14	0.19	0.26	0.28	0.44	-0.07	0.66	-0.83	-0.08	0.20	-0.96				
Ca	0.38	-0.41	0.17	-0.44	-0.44	-0.48	-0.24	-0.69	0.33	-0.84	0.79	0.02	0.17	0.99	-0.91			
Mg	0.70	0.01	0.57	-0.29	-0.38	-0.36	0.00	-0.65	0.08	-0.54	0.28	0.57	0.36	0.60	-0.58	0.59		
Al	0.04	-0.04	0.24	-0.27	-0.19	-0.10	0.25	0.30	0.04	0.43	-0.64	-0.09	0.33	-0.74	0.87	-0.64	-0.58	
K	0.27	0.96	-0.09	0.39	0.43	0.39	0.04	-0.18	0.33	0.08	-0.56	0.10	0.24	-0.46	0.47	-0.45	0.04	0.12

D: diâmetro equatorial do fruto; MF: massa do fruto; MS: massa do suco; RS: rendimento do suco; x: coordenada este (E); y: coordenada norte (N); z: cota.

Os parâmetros que tiveram correlação negativa muito forte foram H+Al³ e Ca, Fe e Ca, pH e H+Al³, Mn e H+Al³, pH e Fe. A correlação negativa muito forte do pH e H+Al³, H+Al³ e Ca era de se esperar, pois são inversamente proporcionais, ou seja, o aumento do pH implica diretamente diminuição dos teores de H+Al³ (acidez do solo).

Correlações negativas fortes ocorreram com Cu e Zn, RS e Zn, C e D, Cu e C, Cu e pH, Cu e Mg, Cu e Ca, Fe e Mn, Mn e Al, Al e pH e Al e Ca. Confirma-se então, que a concentração muito alta do cobre (Tabela 04) interfere negativamente nos teores de Zn, D, pH, Mg, C e Ca do solo e que, provavelmente, os altos teores de Cu sejam resultantes de aplicações de defensivos agrícolas utilizados no controle de doenças nos citros. O RS não se correlacionou significativamente com os demais atributos físicos dos frutos, mas se correlacionou forte negativamente com o Zn.

Os parâmetros que tiveram correlação positiva muito forte foram D e MF, D e MS, MF e MS, pH e Mn, pH e Ca, Al e H+Al³ e K e y. A correlação positiva muito forte entre os

atributos físicos D, MF e MS era esperada, pois o aumento do D tem influência direta em MF e MS. Tiveram correlação positiva forte o H+Al³ e Fe, Ca e Mn, pH e Mg.

Na Tabela 08, estão os dados de correlação linear de Pearson para o conjunto de dados das nove árvores (coeficientes de correlação com variação de -1 a 1), com a posição tridimensional de cada fruto e seus respectivos atributos físicos, triênio 2011, 2012 e 2013, classificados em quintis conforme escala apresentada anteriormente na Tabela 07.

Tabela 08 Correlação linear de Pearson das posições tridimensionais de frutos e respectivos atributos físicos, de nove laranjeiras no triênio 2011, 2012 e 2013, Nova Laranjeiras, PR

	x	y	z	D	MF	MS		x	y	z	D	MF	MS		x	y	z	D	MF	MS
D	0.15	-0.05	0.16				A	0.07	-0.04	0.17				B	0.02	-0.24	0.10			
MF	0.12	-0.01	0.18	0.97				0.07	-0.09	0.20	0.95				0.05	-0.19	0.05	0.94		
MS	0.06	-0.05	0.08	0.86	0.90			0.11	-0.09	0.24	0.89	0.94			0.08	-0.29	0.02	0.89	0.93	
RS	-0.18	-0.11	-0.21	-0.21	-0.18	0.26		0.08	-0.03	0.14	-0.04	-0.03	0.30		0.09	-0.34	-0.08	0.15	0.12	0.47
D	-0.11	0.17	0.10				D	0.06	-0.20	0.02				E	0.03	0.07	0.16			
MF	-0.02	0.14	0.08	0.92				0.07	-0.12	0.00	0.93				0.06	0.08	0.16	0.95		
MS	-0.14	0.12	0.12	0.80	0.85			0.00	-0.18	0.11	0.85	0.91			0.08	0.16	0.21	0.82	0.87	
RS	-0.20	-0.03	0.08	0.00	-0.02	0.51		-0.18	-0.17	0.28	-0.05	-0.06	0.34		0.11	0.19	0.11	-0.09	-0.07	0.42
D	0.05	0.06	0.07				G	0.15	-0.19	0.14				H	-0.07	-0.02	0.18			
MF	0.04	0.03	0.09	0.95				0.14	-0.20	0.10	0.95				-0.10	-0.03	0.21	0.93		
MS	0.01	0.02	0.03	0.88	0.93			0.14	-0.31	0.11	0.86	0.93			-0.08	-0.12	0.24	0.81	0.91	
RS	-0.09	-0.03	-0.14	-0.04	-0.04	0.33		0.01	-0.30	0.02	-0.15	-0.11	0.27		0.05	-0.22	0.04	-0.30	-0.21	0.21

D: diâmetro equatorial do fruto; MF: massa do fruto; MS: massa do suco; RS: rendimento do suco; x: coordenada este (E); y: coordenada norte (N); z: cota.

A partir da análise das nove árvores, confirmam-se as correlações positivas muito forte entre o D, MF e MS em todas elas. O RS tende a se correlacionar moderadamente com a MS, evidenciado nas árvores C, D e F. Em relação à cota (z), a mesma não se correlacionou significativamente com quaisquer dos atributos físicos dos frutos, resultados concordantes com Lemos et al. (2012) que afirmam em seu trabalho que não houve diferenças estatísticas do diâmetro transversal entre os frutos situados nas partes apical e intermediária em laranjeiras da cultivar Pera Rio.

1.5.5 Análise geoestatística

A Tabela 09 demonstra a análise geoestatística, no plano xy, para os atributos físicos de frutos de nove laranjeiras, assim como o melhor modelo ajustado para cada atributo, parâmetros estimados e respectivas classificações de dependência espacial.

Os alcances determinam a distância dentro da qual as amostras apresentam autocorrelação espacial, ou seja, o alcance marca a distância a partir da qual um ponto da variável em estudo não tem mais influência sobre o ponto vizinho. Para a variável D, os alcances variaram de 0,21 a 1,55 m e apresentaram prevalência de dependência espacial moderada e o modelo exponencial foi escolhido, em função do menor ICE, em sete das nove árvores estudadas.

Tabela 09 Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais dos atributos físicos de frutos em nove laranjeiras, Nova Laranjeiras, PR.

Árvores	Variáveis	Modelos	C ₀	C ₁	C ₀ + C ₁	a (m)	IDE (%)	Dependência
A	D	Gaussiano	0,0038	0,0028	0,0067	1,30	57,46	Moderada
	MF	Gaussiano	0,0390	0,0036	0,0426	0,34	91,58	Fraca
	MS	Exponencial	0,0103	0,0470	0,0573	0,25	17,91	Forte
	RS	Exponencial	0,0058	0,0071	0,0129	0,33	44,81	Moderada
B	D	Exponencial	0,0025	0,0027	0,0052	0,28	47,34	Moderada
	MF	Exponencial	0,0044	0,0389	0,0433	0,30	10,16	Forte
	MS	Exponencial	0,0027	0,0458	0,0485	0,34	5,64	Forte
	RS	Gaussiano	0,0300	0,0210	0,0510	1,32	58,83	Moderada
C	D	Exponencial	0,0034	0,0015	0,0049	1,05	69,26	Moderada
	MF	Esférico	0,0306	0,0014	0,0320	2,36	95,70	Fraca
	MS	Esférico	0,0366	0,0040	0,0405	2,85	90,18	Fraca
	RS	Esférico	0,0045	0,0019	0,0064	2,37	70,93	Moderada
D	D	Exponencial	0,0029	0,0010	0,0039	0,21	73,54	Moderada
	MF	Exponencial	0,0240	0,0029	0,0268	0,86	89,31	Fraca
	MS	Exponencial	0,0313	0,0047	0,0360	2,56	87,06	Fraca
	RS	Exponencial	0,0088	0,0005	0,0093	1,85	95,08	Fraca
E	D	Exponencial	0,0001	0,0047	0,0048	0,38	2,17	Forte
	MF	Gaussiano	0,0227	0,0149	0,0376	0,26	60,36	Moderada
	MS	Esférico	0,0268	0,0159	0,0427	0,26	62,84	Moderada
	RS	Esférico	0,0045	0,0026	0,0071	0,25	63,53	Moderada
F	D	Esférico	0,0037	0,0013	0,0049	0,25	74,55	Moderada
	MF	Gaussiano	0,0365	0,0065	0,0430	0,58	84,78	Fraca
	MS	Exponencial	0,0423	0,0079	0,0502	1,72	84,35	Fraca
	RS	Exponencial	0,0016	0,0081	0,0096	0,20	12,67	Forte
G	D	Exponencial	0,0029	0,0024	0,0052	0,69	54,36	Moderada
	MF	Gaussiano	0,0241	0,0186	0,0427	0,49	56,51	Moderada
	MS	Gaussiano	0,0316	0,0141	0,0457	0,53	69,14	Moderada
	RS	Esférico	0,0030	0,0031	0,0061	0,17	49,18	Moderada
H	D	Exponencial	0,0028	0,0040	0,0068	1,40	40,75	Moderada
	MF	Exponencial	0,0215	0,0289	0,0505	1,39	42,67	Moderada
	MS	Exponencial	0,0230	0,0299	0,0529	1,33	43,52	Moderada
	RS	Gaussiano	0,0043	0,0026	0,0069	0,42	62,35	Moderada
I	D	Exponencial	0,0301	0,0032	0,0333	1,55	90,36	Fraca
	MF	Exponencial	0,0256	0,0108	0,0365	0,66	70,30	Moderada
	MS	Exponencial	0,0225	0,0167	0,0393	0,82	57,36	Moderada
	RS	Exponencial	0,0064	0,0003	0,0068	0,53	95,36	Fraca

D: diâmetro equatorial do fruto; MF: massa do fruto; MS: massa do suco; RS: rendimento do suco; C₀: efeito pepita; C₁: contribuição (*partial sill*); C₀ + C₁: patamar; a: alcance; IDE: índice de dependência espacial.

Os alcances variaram de 0,26 m (gaussiano, árvore E) até 2,36 m (esférico, árvore C) para a variável MF. Os modelos exponencial e gaussiano prevaleceram para essa variável e apresentaram forte dependência espacial apenas na árvore B. Para a MS, o modelo exponencial foi predominante em sete árvores, com o alcance cuja variação foi de 0,25 (árvore A) a 2,85 m (árvore C) e a variação de dependência espacial foi de fraca à forte.

O RS apresentou forte dependência espacial na árvore F, fraca dependência nas árvores E e I, e moderada dependência para as demais. O alcance variou de 0,17 (árvore G, modelo esférico) a 2,37 m (árvore C, modelo esférico). Para os atributos físicos, nas árvores estudadas, os parâmetros com as maiores ocorrências foram o modelo exponencial e a dependência espacial moderada.

Não foram encontrados valores de efeito pepita puro, ou seja, quando não há dependência espacial entre as amostras analisadas, registrada quando o efeito pepita tem o valor do patamar.

1.5.6 Mapas temáticos bidimensionais

As distribuições espaciais dos teores de Cu, Zn, Fe e Mn do solo estão apresentadas na Figura 31e, cujos dados foram obtidos a partir da média dos valores das profundidades 0-20 e 20-40 cm. As interpretações dos níveis dos teores de nutrientes encontrados seguem classificação baseada na Tabela 04, apresentada anteriormente.

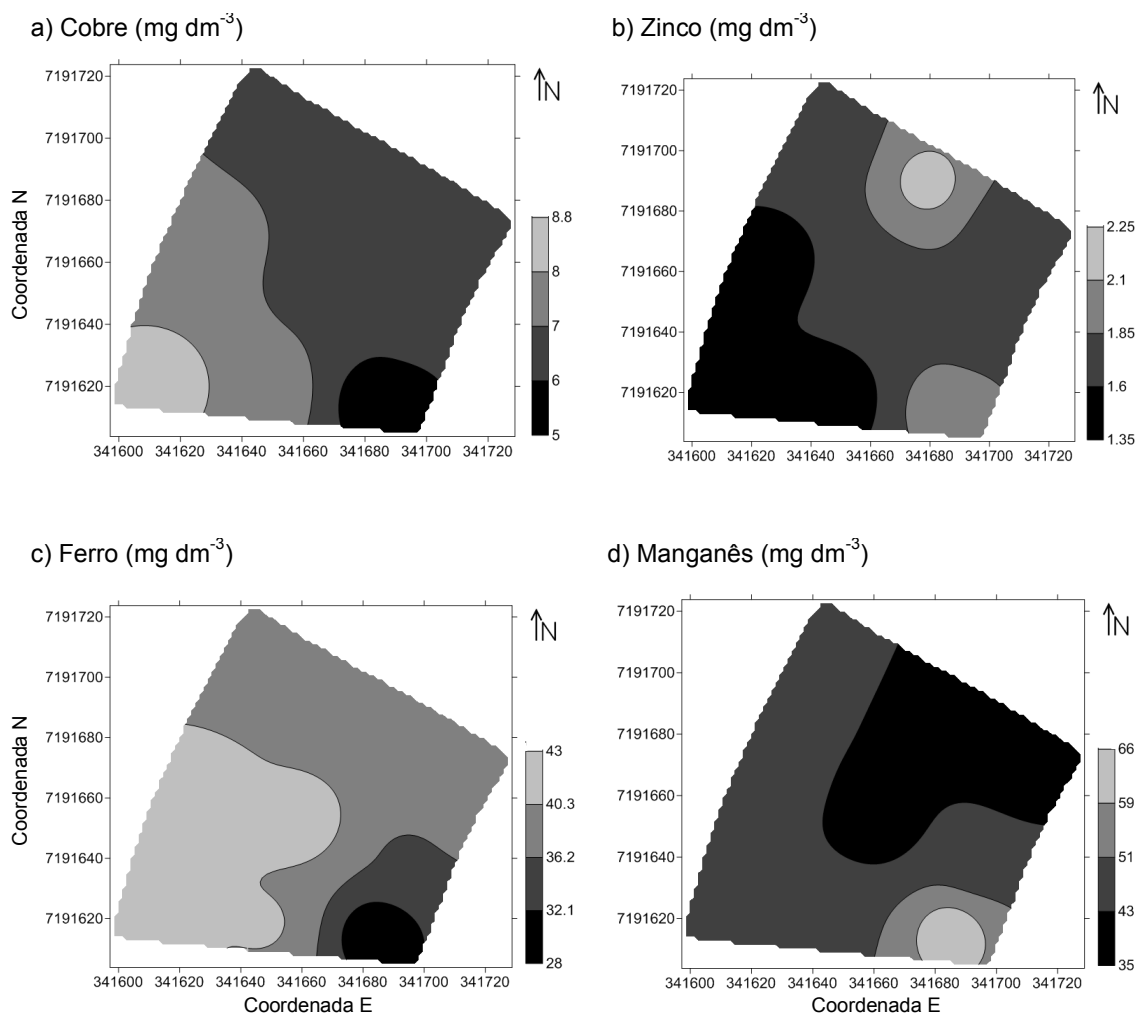


Figura 31 Mapas temáticos referentes aos teores de cobre (a), zinco (b), ferro (c) e Manganês (d) em pomar de laranjas, no triênio 2011, 2012 e 2013. Nova Laranjeiras, PR.

Dos teores de Cu encontrados no solo, 100% estão acima de $1,7 \text{ mg dm}^{-3}$ (alto), e os maiores teores são identificados na região SO da área em altitudes inferiores (Figura 30b). Neste trabalho, foram encontrados elevados valores para os teores de Cu, provavelmente

devido aos pomares de citros serem submetidos a várias aplicações de defensivos cúpricos utilizados no controle de doenças. Ao se avaliar o pomar de maçãs, em solo classificado como Cambissolo Húmico, Rosa et al., 2012 encontraram teores de Cu com variações de 8,30 a 13,80 mg dm³, valor máximo próximo ao encontrado neste trabalho com amplitude de 2,06 a 12,43 mg dm³.

A correlação negativa muito forte do Cu (Figura 31a) com a direção Leste pode ser visualizada no mapa temático do Cu e pode estar relacionada com o tipo de manejo de aplicações de defensivos agrícolas além da condição e relevo do terreno (Figura 30b). O mapa temático do teor de Zn (Figura 31b) apresentou os menores valores na região SO, inversamente aos encontrados com o teor de Cu, logo, explicam a forte correlação negativa encontrada (Tabela 07) entre os dois nutrientes. De acordo com a Tabela 04, o nível de Zn foi considerado baixo, pois os valores encontrados ficaram abaixo de 3,0 mg dm⁻³.

O mapa temático do nutriente Fe (Figura 31c) correlacionou-se forte e positivamente com Cu e também teve maiores concentrações na região SO. Os níveis de Fe estão entre médio (15 a 40 mg dm⁻³) e alto (>40 mg dm⁻³). Quanto ao mapa temático referente ao teor de Mn (Figura 31d), os teores encontrados são considerados elevados, com menores valores encontrados na região NE da área.

Os mapas temáticos dos teores de P, C, pH, Ca, Mg e K são apresentados na Figura 32. Os teores predominantes para o P variaram entre 4,8 a 6,8 mg dm⁻³ com maiores teores de P localizados na região NE e de maior altitude.

Segundo Medeiros et al. (2008), cuidados especiais devem ser tomados, pois elevadas concentrações de Ca trocável no solo, provocadas pela adição de corretivos da acidez com alta relação Ca/Mg inibem a absorção de Mg e K pelas plantas.

Os maiores teores de C foram encontrados na região de maior altitude (Figura 32e) e com menor declividade, provavelmente pela manutenção da matéria orgânica sobre o solo, o que não acontece em regiões com maior declividade e sujeitas à erosão da camada superficial do solo.

O teor de pH, como visto na Tabela 04, foi considerado abaixo do recomendado. Maiores valores foram encontrados na região SE da área, justamente onde os maiores teores de C, Ca e Mg também foram encontrados, evidenciando a forte relação entre o pH com o Ca e Mg.

De acordo com a Tabela 04, verificou-se a correlação positiva muito forte entre o nutriente K e a direção N, visualizada também no mapa temático da distribuição espacial do K na área, a qual não deve ser considerada como regra, provavelmente está relacionada com o tipo de manejo de adubação adotado pelo citricultor.

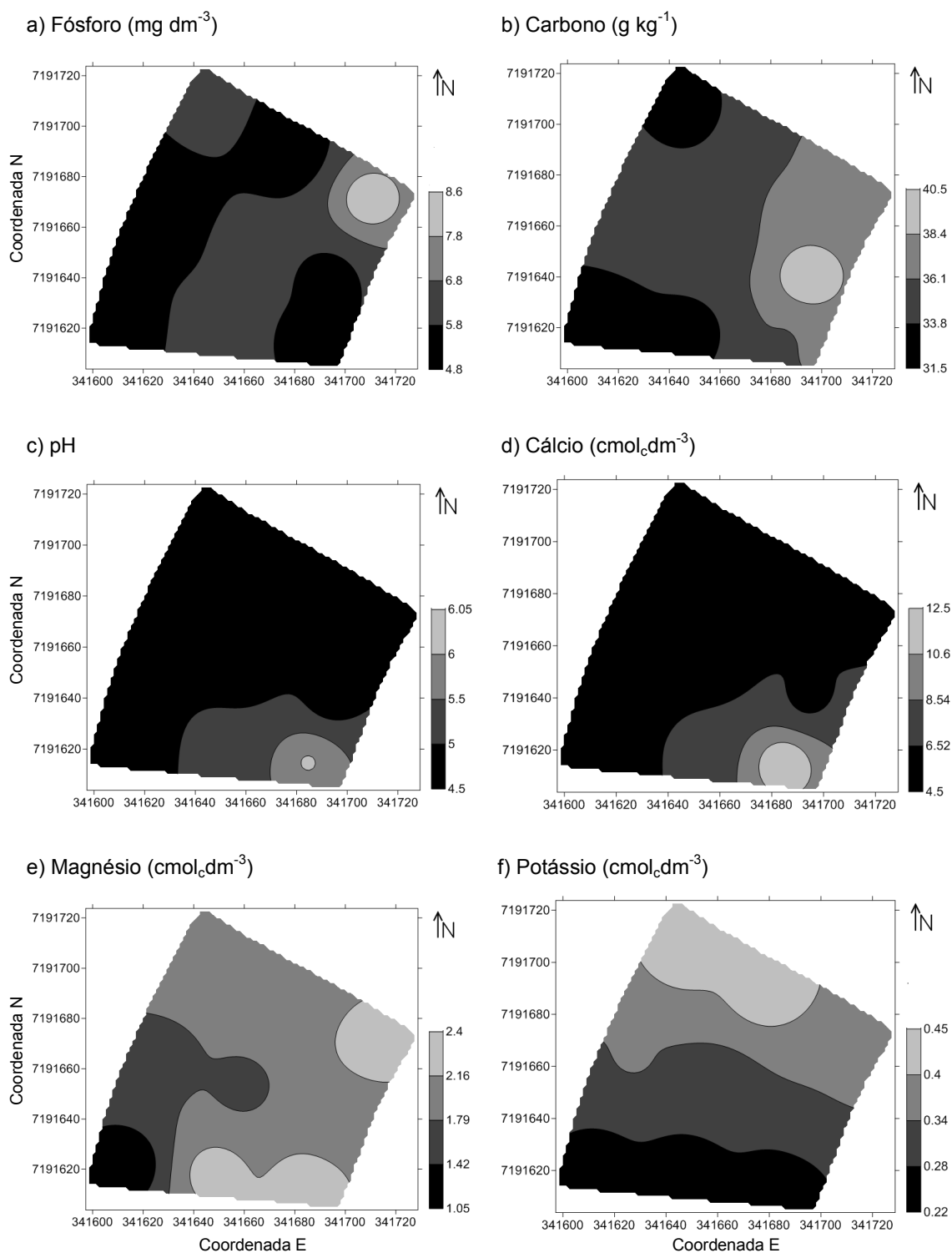


Figura 32 Mapas temáticos referentes aos teores de fósforo (a), carbono (b), pH (c), cálcio (d), magnésio (e) e potássio (f) em pomar de laranjas, no triênio 2011, 2012 e 2013, Nova Laranjeiras, PR.

Evidencia-se pela análise dos mapas temáticos (Figura 33), com relação à distribuição espacial aos atributos D, MF e MS, que os maiores valores desses atributos

localizam-se na área do pomar com menores altitudes (Figura 30b), evidenciando a forte correlação negativa encontrada anteriormente na Tabela 07.

O diâmetro pode ser influenciado pelo número de frutos por planta (MINCHIN et al., 1997) e apresenta relação inversa com a quantidade de frutas por planta (GUARDIOLA e GARCÍA-LUIS, 2000). Neste trabalho não foi mensurado o número total de frutos por árvore e tal afirmação não pode ser evidenciada.

Quanto ao RS, o mesmo apresentou distribuição espacial com maiores valores nas direções leste-oeste, menores valores nas direções norte-sul do pomar e não se correlacionou com os demais atributos físicos dos frutos. Para Domingues et al. (1999), o RS é uma variável dependente de fatores como o estágio de maturação dos frutos, clima, material genético, tratamentos culturais e adubação.

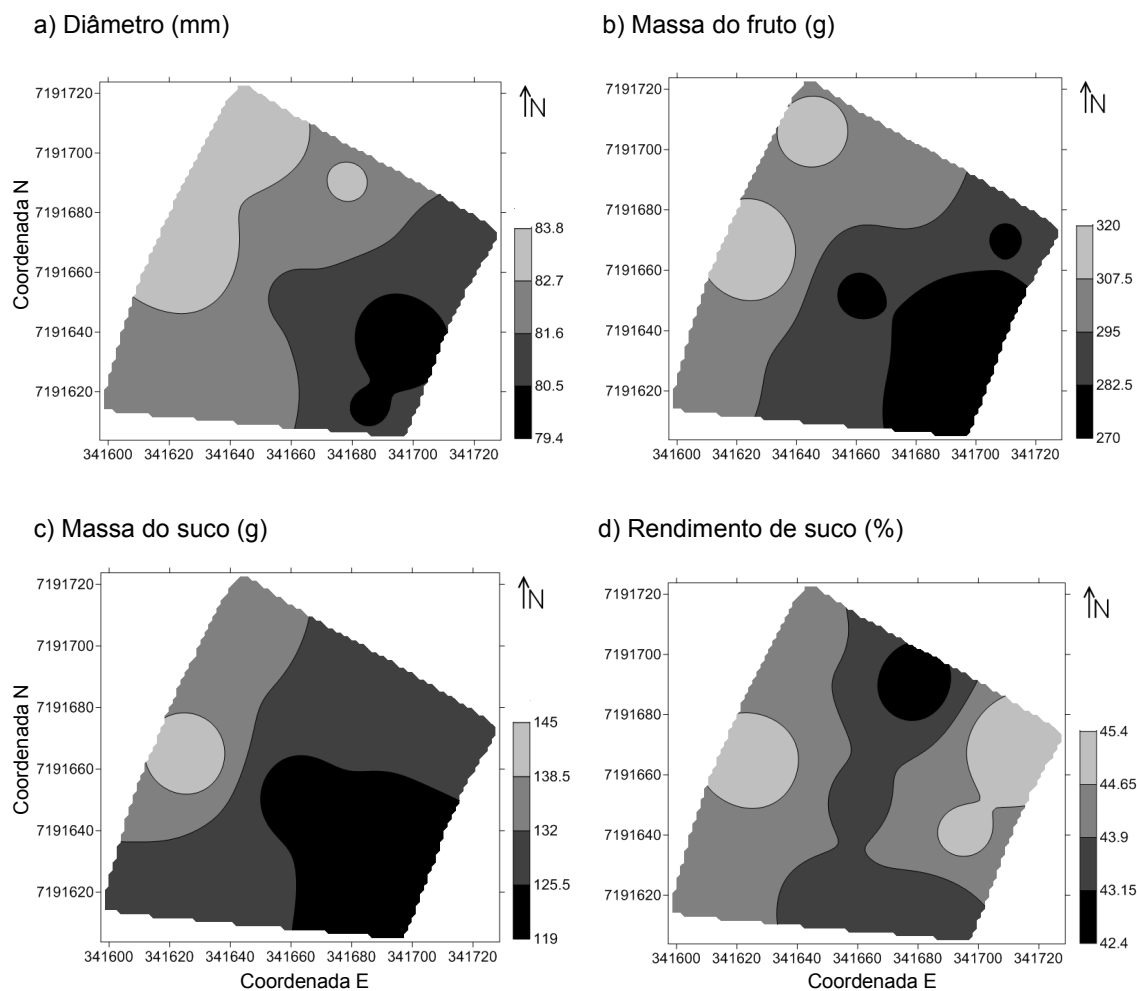


Figura 33 Mapas temáticos referentes aos atributos físicos diâmetro (a), massa do fruto (b), massa do suco (c) e rendimento de suco (d) em pomar de laranjas, no triênio 2011, 2012 e 2013, Nova Laranjeiras, PR.

Os mapas bidimensionais no plano x e y de cada atributo físico e em cada árvore estudada são ilustrados nas Figuras 34 a 37. Para melhor visualização do tamanho

correspondente de cada árvore nos planos x (E) e y (N), as coordenadas métricas UTM foram convertidas em coordenadas métricas cartesianas locais, cujas coordenadas iniciais foi o valor zero em x e y. Os valores dos atributos foram normalizados (SWINDELL, 1997) e valores abaixo de 1 (um) significam que estão abaixo da média, enquanto valores acima de 1 (um) informam que estão acima da média de cada atributo, em cada árvore, no referido triênio (2011, 2012 e 2013).

Os valores normalizados do D são ilustrados na Figura 34e demonstram não ter tendência entre as árvores da sua distribuição espacial. Por exemplo, os valores máximos (acima da média) de D destacaram-se no centro para as árvores A, C, E, H e I e os valores mínimos (abaixo da média) na árvore G. Nas demais, a distribuição foi aleatória.

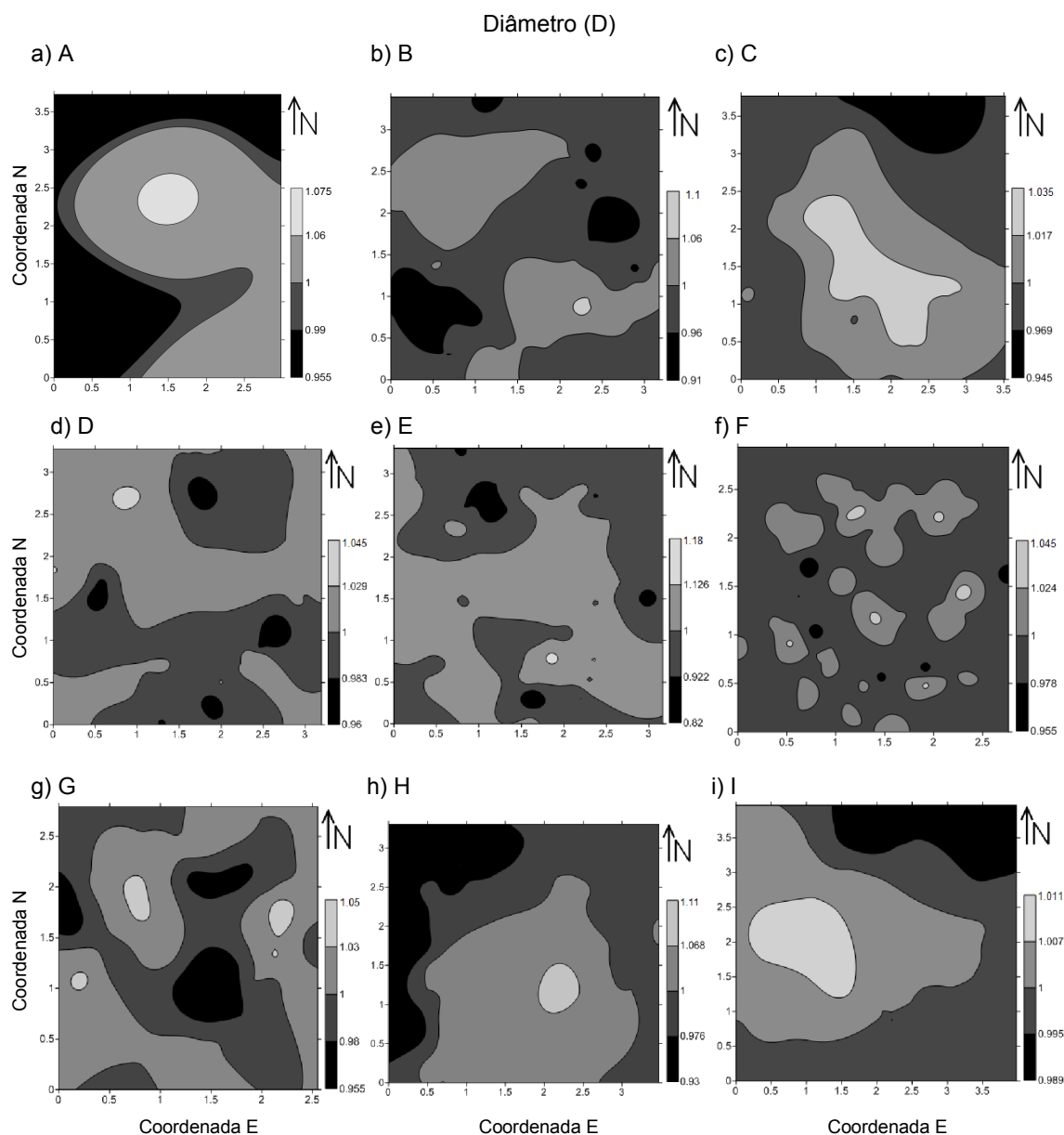


Figura 34 Mapas bidimensionais referentes à distribuição espacial da média normalizada do diâmetro de frutos em pomar de laranjas, no triênio 2011, 2012 e 2013, Nova Laranjeiras, PR.

Como tendência geral para o diâmetro, os valores máximos apresentam-se dispostos ao centro das árvores e na região SE, e valores mínimos com tendência de estarem localizados nas regiões SO e NE e no extremo norte.

Os mapas temáticos de MF nas árvores são ilustrados na Figura 35 e de acordo com os mapas, as árvores C, E, F, H e I possuem valores máximos localizados no centro das árvores. Valores mínimos ao norte são bem definidos nas árvores C e H e, ao sul, nas árvores D e F. Nas árvores A, B e G, a distribuição espacial da MF é aleatória.

A tendência geral para os mapas temáticos de MF é possuir valores máximos localizados no centro e na região SE das árvores e valores mínimos nas regiões extrema norte, NE e SO das árvores, concordando com os mapas do atributo D.

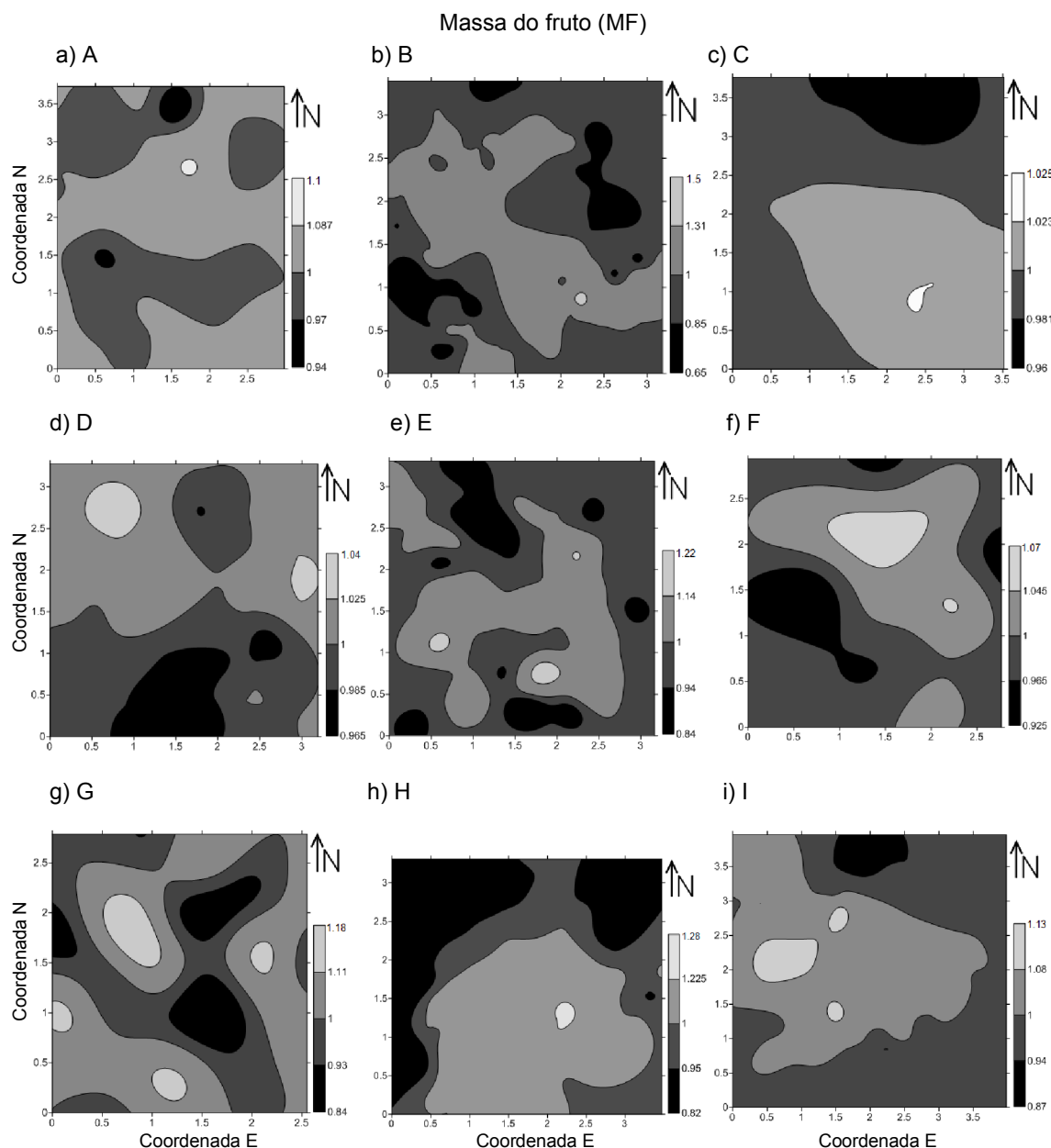


Figura 35 Mapas bidimensionais referentes à distribuição espacial da média normalizada da massa de frutos em pomar de laranjas, no triênio 2011, 2012 e 2013, Nova Laranjeiras, PR.

Os mapas temáticos do atributo MS estão apresentados na Figura 36. Para as árvores A, B, C, E, H e I, observam-se, ao norte, áreas com valores mínimos de MS. A árvore I apresenta valores máximos bem definidos na área central. Valores máximos também são visualizados na região SE das árvores C e H. Valores mínimos destacam-se na direção norte nas árvores C, E, H e I e na região SO da árvore F e na região SE da árvore D. Em geral, para o atributo MS, a tendência é de valores mínimos se concentrarem na área extrema norte e valores máximos na área centro-sul das árvores.

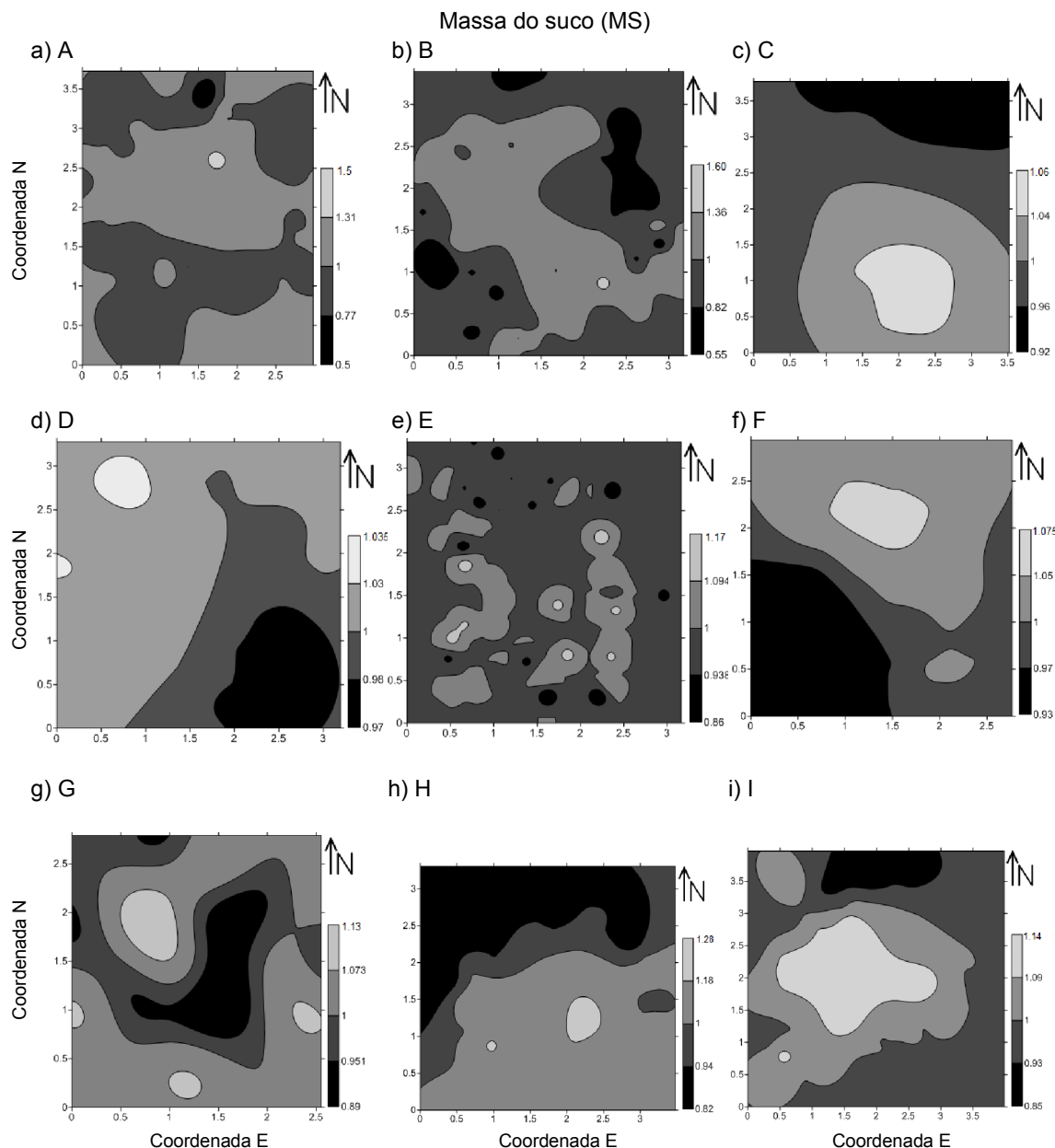


Figura 36 Mapas bidimensionais referentes à distribuição espacial da média normalizada da massa de suco de frutos em pomar de laranjas, no triênio 2011, 2012 e 2013, Nova Laranjeiras, PR.

O atributo RS não apresentou correlação com os demais atributos físicos e os mapas temáticos bidimensionais do RS estão ilustrados na Figura 37. A variabilidade espacial dos

valores de RS nos mapas temáticos apresenta valores máximos na área centro-sul nas árvores B, C, H e I. Todavia, nas árvores A e D, os valores máximos destacam-se nas regiões SO e NO.

Valores mínimos são destacados na árvore D, nas regiões SE e NE e nas regiões NO nas árvores C e I. De modo geral, a região sul apresenta tendência de valores máximos e a região norte apresenta tendência de valores mínimos.

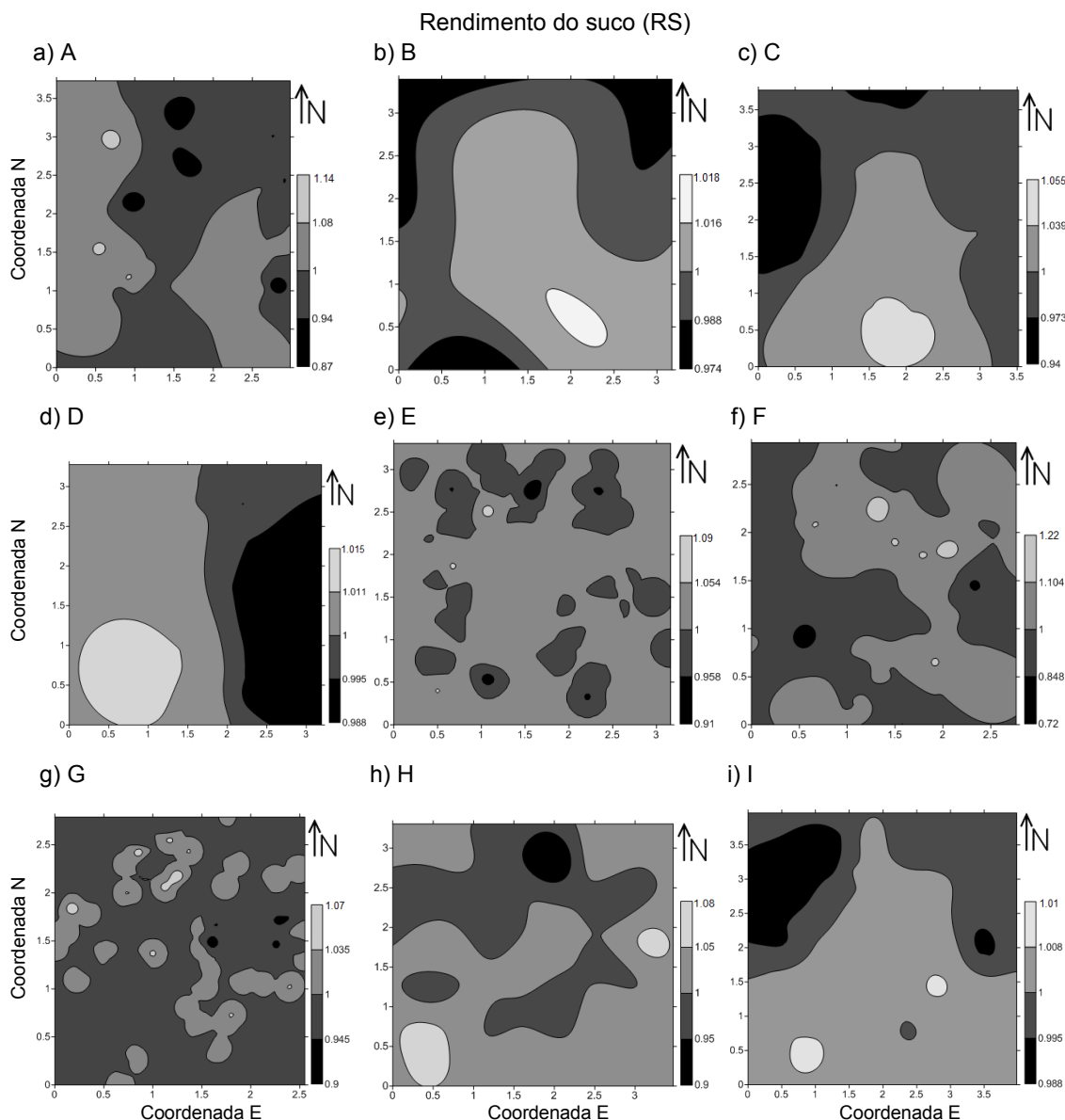


Figura 37 Mapas bidimensionais referentes à distribuição espacial da média normalizada do rendimento de suco de frutos em pomar de laranjas, no triênio 2011, 2012 e 2013, Nova Laranjeiras, PR.

De acordo com a análise dos mapas temáticos do diâmetro, a massa do fruto, a massa do suco e o rendimento do suco das nove árvores estudadas, constatou-se que, entre as árvores, não existe tendência padrão no comportamento nem na variabilidade espacial de tais atributos.

I.5.7 Mapas temáticos tridimensionais

Como já visto nos mapas bidimensionais, os atributos físicos dos frutos também não seguem a tendência de possuírem padrão na variabilidade espacial de para árvore, quando tais atributos são visualizados tridimensionalmente através dos eixos y (norte-sul), x (leste-oeste) e z (cota). Nos mapas apresentados em corte no eixo z, os pontos representam as posições dos frutos na árvore. Os mapas temáticos tridimensionais do D são apresentados a seguir. A Figura 38 apresenta os mapas do diâmetro dos frutos nas árvores A, B e C.

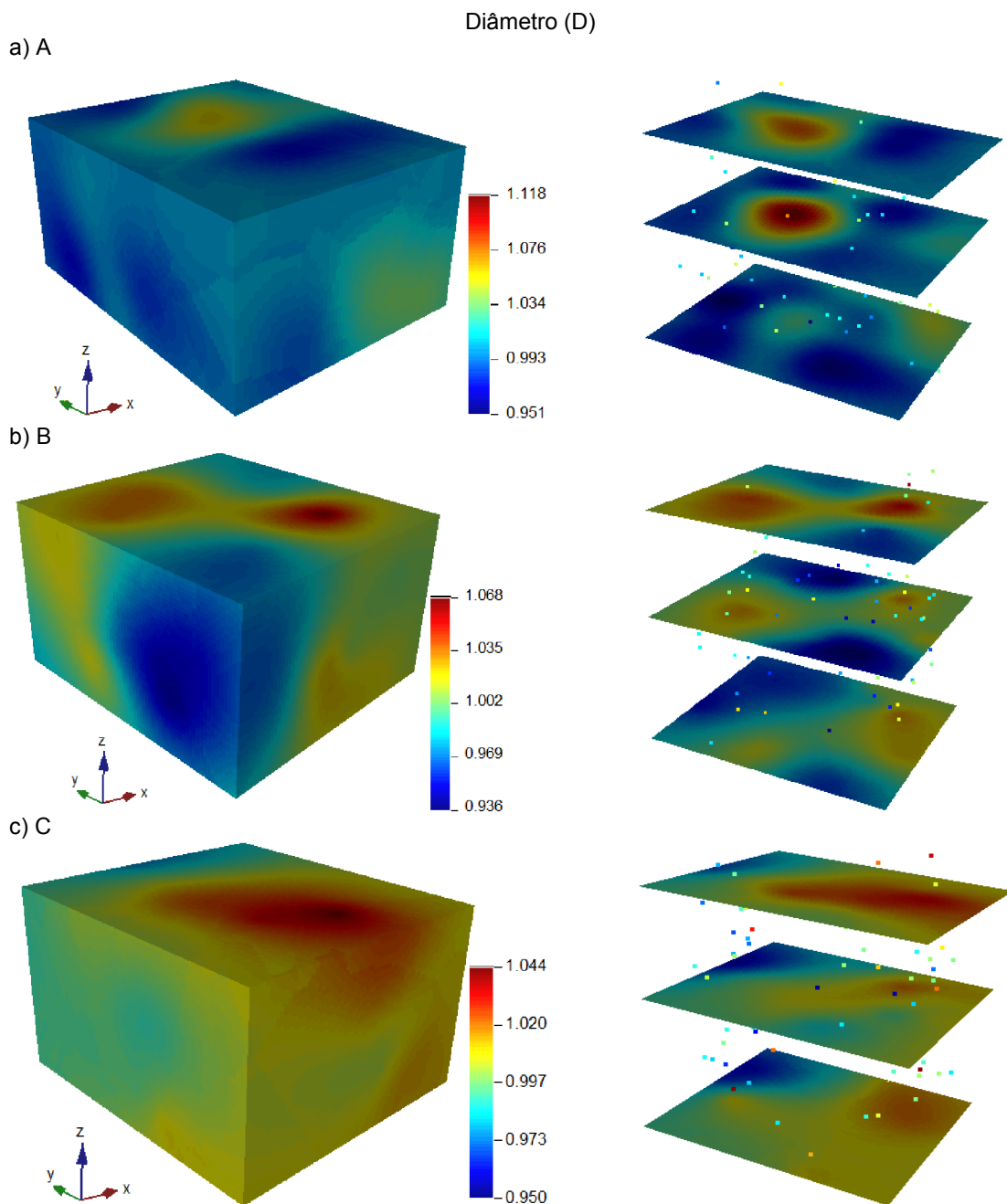


Figura 38 Mapas tridimensionais referentes à distribuição espacial da média normalizada do diâmetro (D) de frutos em pomar de laranjas, nas árvores A, B e C, no triênio 2011, 2012 e 2013, Nova Laranjeiras, PR.

Para a árvore A, valores acima da média concentram-se nos terços intermediário e apical, localizados na região norte da árvore. Na árvore B, máximos valores concentram-se nos terços apical e intermediário, nas regiões SE e NO. Já na árvore C, valores acima da média concentram-se na direção sul da árvore, com destaque no terço apical. Na Figura 39, estão apresentados os mapas do diâmetro dos frutos nas árvores D, E e F.

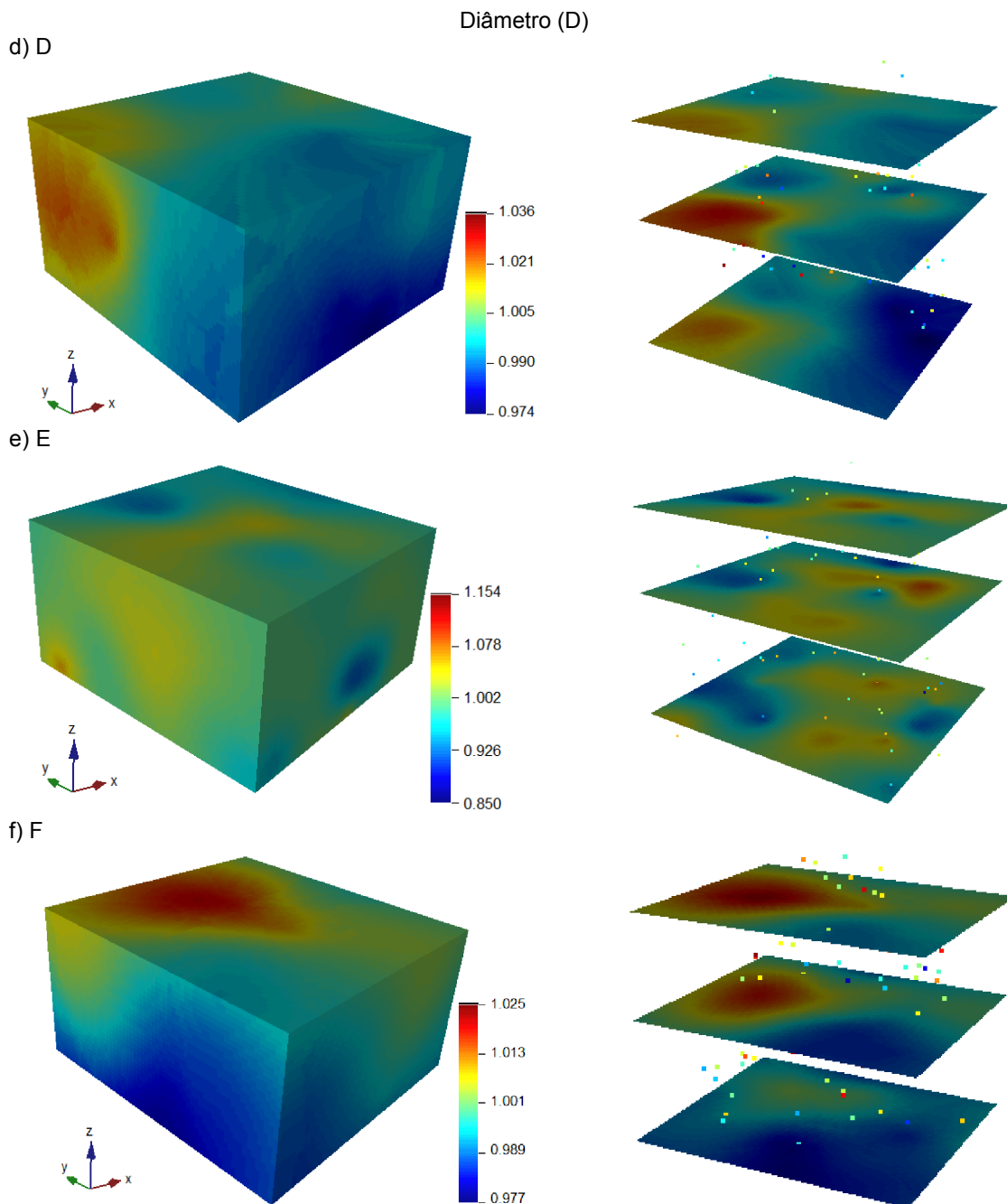


Figura 39 Mapas tridimensionais referentes à distribuição espacial da média normalizada do diâmetro (D) de frutos em pomar de laranjas, nas árvores D, E e F, no triênio 2011, 2012 e 2013, Nova Laranjeiras, PR.

Na árvore D, os valores acima da média concentram-se na região NO com destaque para o terço intermediário e os valores abaixo da média destacam-se no terço basal na

região sul da árvore. A predominância de valores abaixo da média na árvore E localiza-se na direção norte extrema em todos os terços e valores acima da média no sentido leste-oeste em todos os terços. Na árvore F, os valores acima da média para o D concentram-se na região norte da árvore com predominância nos terços apical e intermediário. Na Figura 40, estão apresentados os mapas do diâmetro dos frutos nas árvores G, H e I.

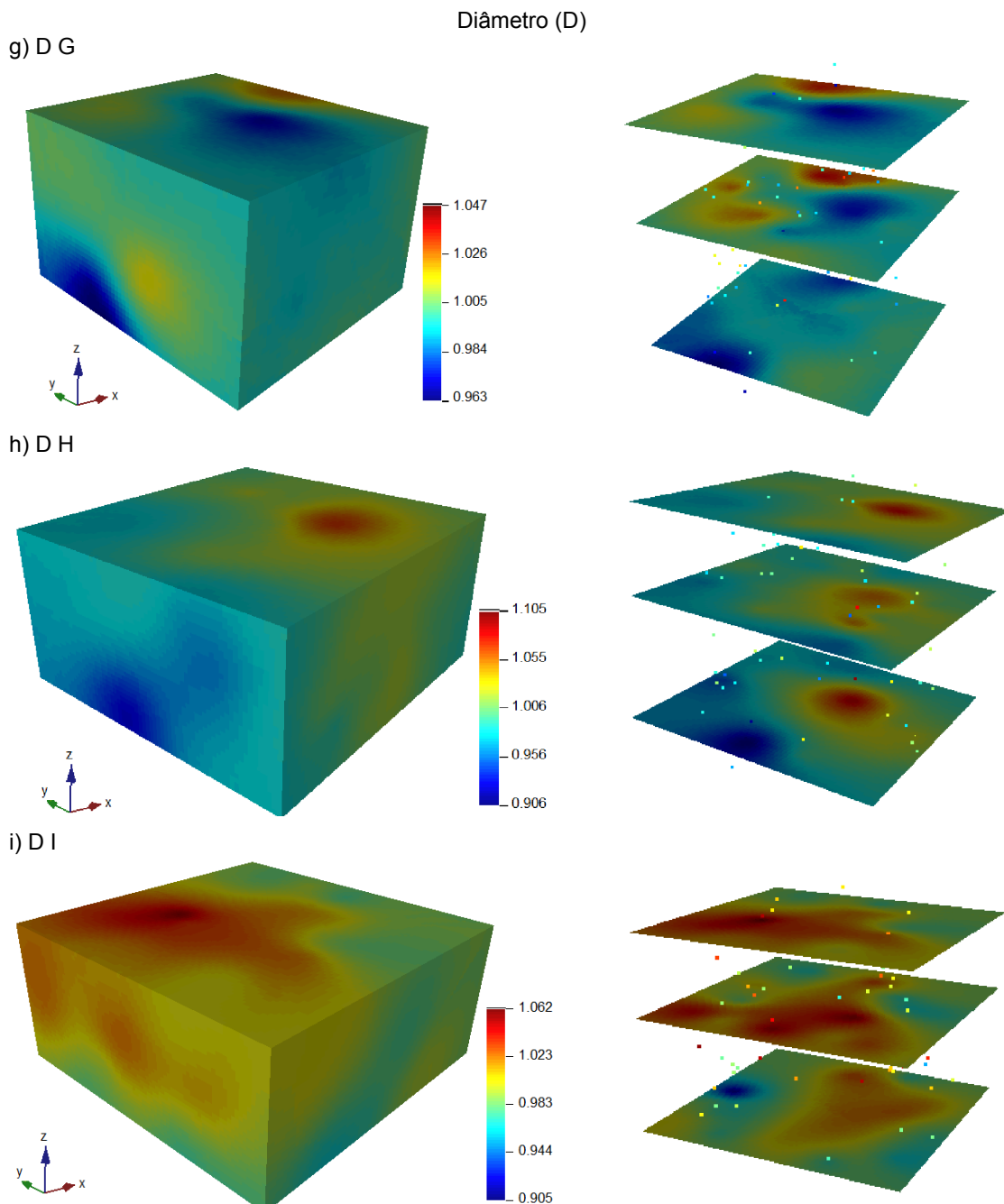


Figura 40 Mapas tridimensionais referentes à distribuição espacial da média normalizada do diâmetro (D) de frutos em pomar de laranjas, nas árvores G, H e I, no triênio 2011, 2012 e 2013, Nova Laranjeiras, PR.

Valores abaixo da média concentram-se na região SO da árvore, os quais são predominantes nos terços intermediário e basal. Para a árvore G, a distribuição de valores é

mais aleatorizada. Porém, indica que os valores abaixo da média apresentam-se mais destacados no terço basal. Na árvore H, os valores acima da média para o D, para os três terços, localizam-se na área sul da árvore. Valores abaixo da média são bem distintos no terço basal na região NO. Para a árvore I, valores abaixo da média são distintos no terço basal na área norte da árvore e com valores acima da média predominantes nos terços intermediário e apical. Na Figura 41, os mapas temáticos da massa do fruto são apresentados para as árvores A, B e C.

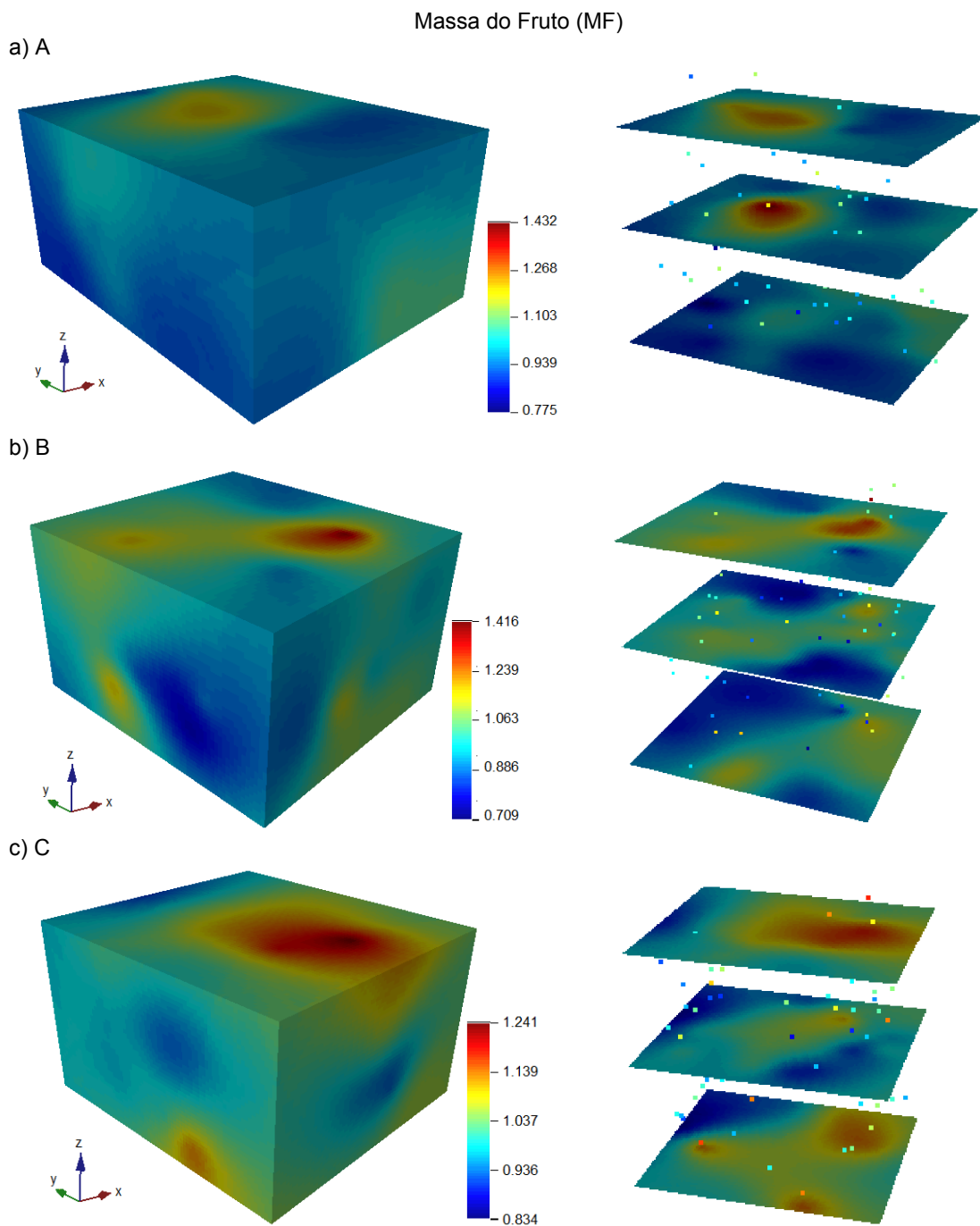
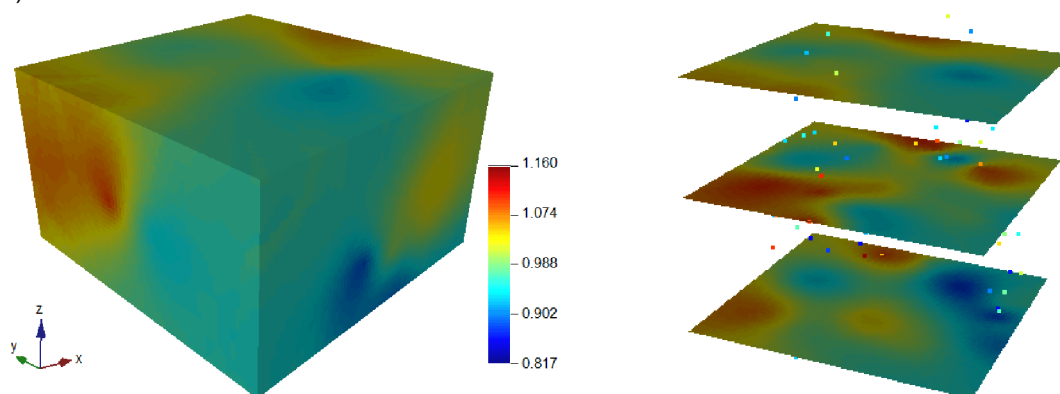


Figura 41 Mapas tridimensionais referentes à distribuição espacial da média normalizada da massa do fruto (MF) de frutos em pomar de laranjas, nas árvores A, B e C, no triênio 2011, 2012 e 2013, Nova Laranjeiras, PR.

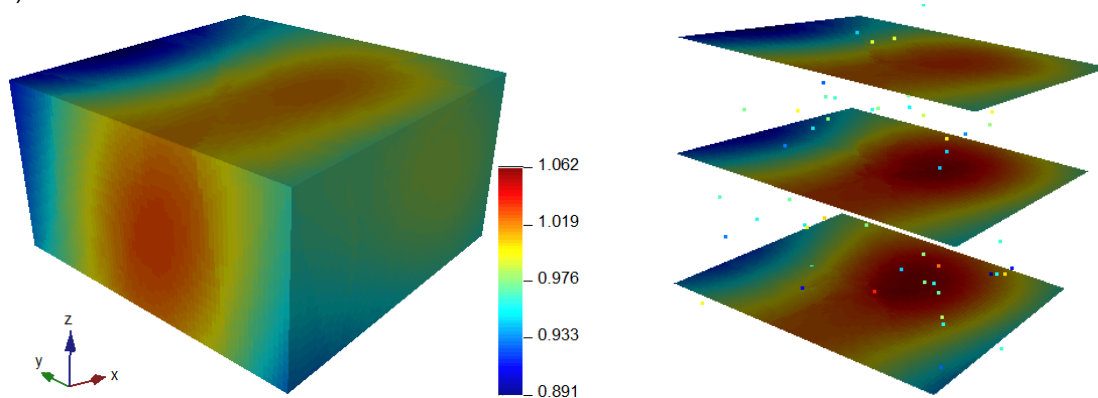
Na árvore A, os valores mínimos de MF concentram-se praticamente em todo o terço basal e nos terços intermediário e apical na parte sul da árvore e com valores máximos localizados nos terços intermediário e apical na região centro-norte. Na árvore B, os valores mínimos concentram-se em todos os terços nas regiões NE e SO com valores máximos nas regiões SE e NO. Para a árvore C, os valores mínimos se concentram na região norte da árvore no terço apical, regiões NE e SO no terço intermediário e, para a região NE, no terço basal. Porém, máximos valores concentram-se na região centro sul em todos os terços. Na Figura 42, os mapas temáticos da massa dos frutos são apresentados nas árvores D, E e F.

Massa do fruto (MF)

d) D



e) E



f) F

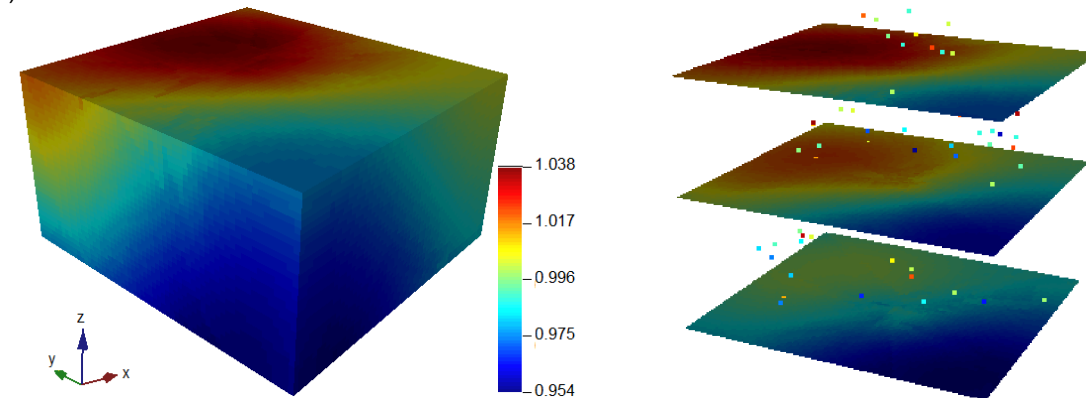


Figura 42 Mapas tridimensionais referentes à distribuição espacial da média normalizada da massa do fruto (MF) de frutos em pomar de laranjas, nas árvores D, E e F, no triênio 2011, 2012 e 2013, Nova Laranjeiras, PR.

Na árvore D, os valores mínimos concentram-se na região sul enquanto os valores máximos concentram-se na região norte, com ênfase na região NO. A predominância de valores de MF abaixo da média na árvore E localiza-se na região norte extrema em todos os terços e os valores acima da média estão no sentido leste oeste, também em todos os terços. Na árvore F, os valores acima da média para a MF concentram-se na região NE da árvore com maior ênfase no terço apical. Já valores abaixo da média concentram-se na região SO em todos os terços, mas com maior ênfase no terço basal. Na Figura 43, os mapas da massa dos frutos são apresentados nas árvores G, H e I.

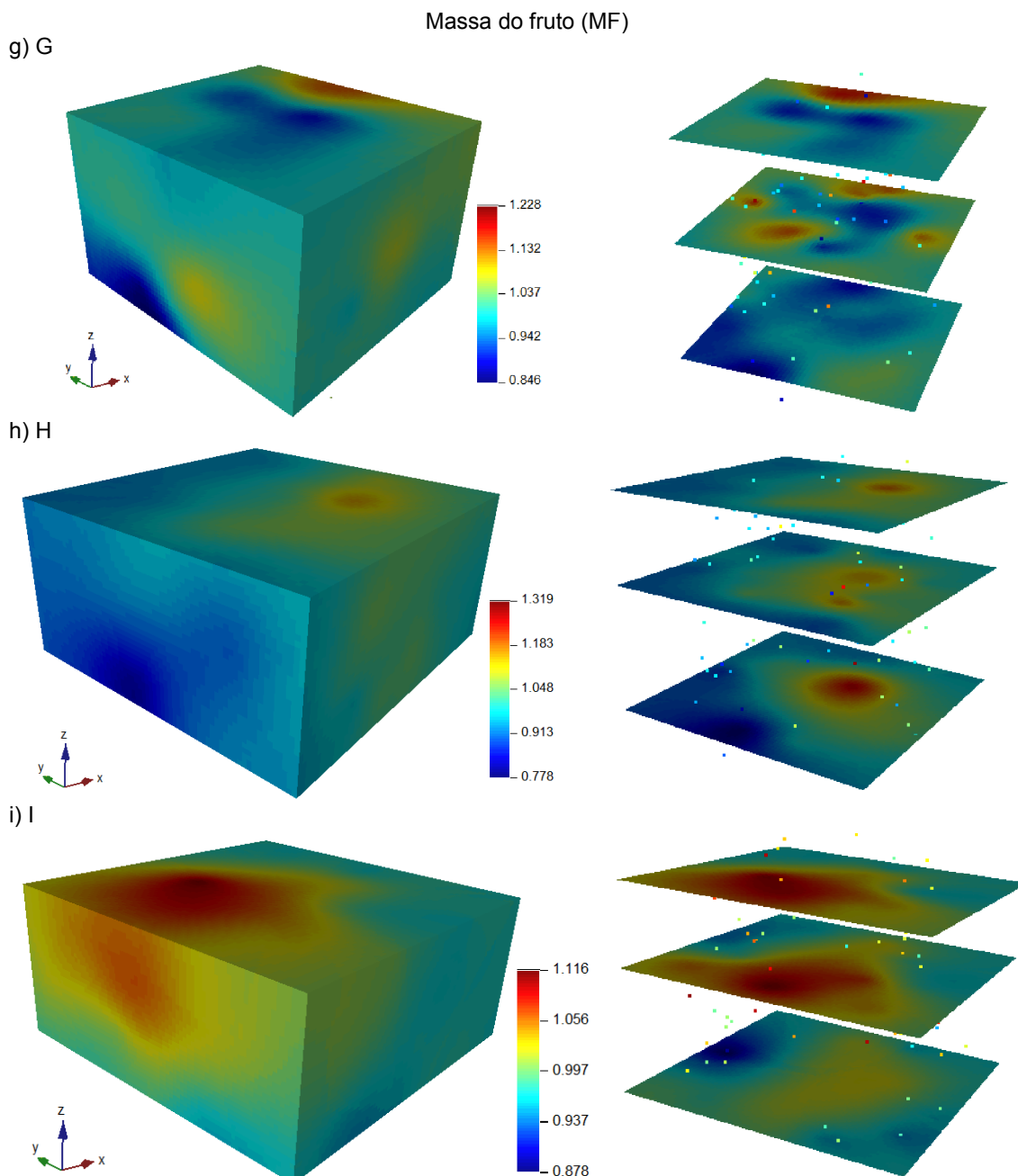


Figura 43 Mapas tridimensionais referentes à distribuição espacial da média normalizada da massa do fruto (MF) de frutos em pomar de laranjas, nas árvores G, H e I, no triênio 2011, 2012 e 2013, Nova Laranjeiras, PR.

Para a árvore G, a distribuição de valores é aleatória, ou seja, indica que valores abaixo da média apresentam-se mais destacados no terço basal e na área central da árvore (plano xy). Na árvore H, valores mínimos, para os três terços, localizam-se na região sul da árvore. Valores mínimos são bem distintos no terço basal na região NO. Para a árvore I, os valores abaixo da média são distintos no terço basal na região norte da árvore e que estão acima da média, predominantes nos terços intermediário e apical nas regiões NO e oeste. Na Figura 44, os mapas da massa do suco são apresentados para as árvores A, B e C.

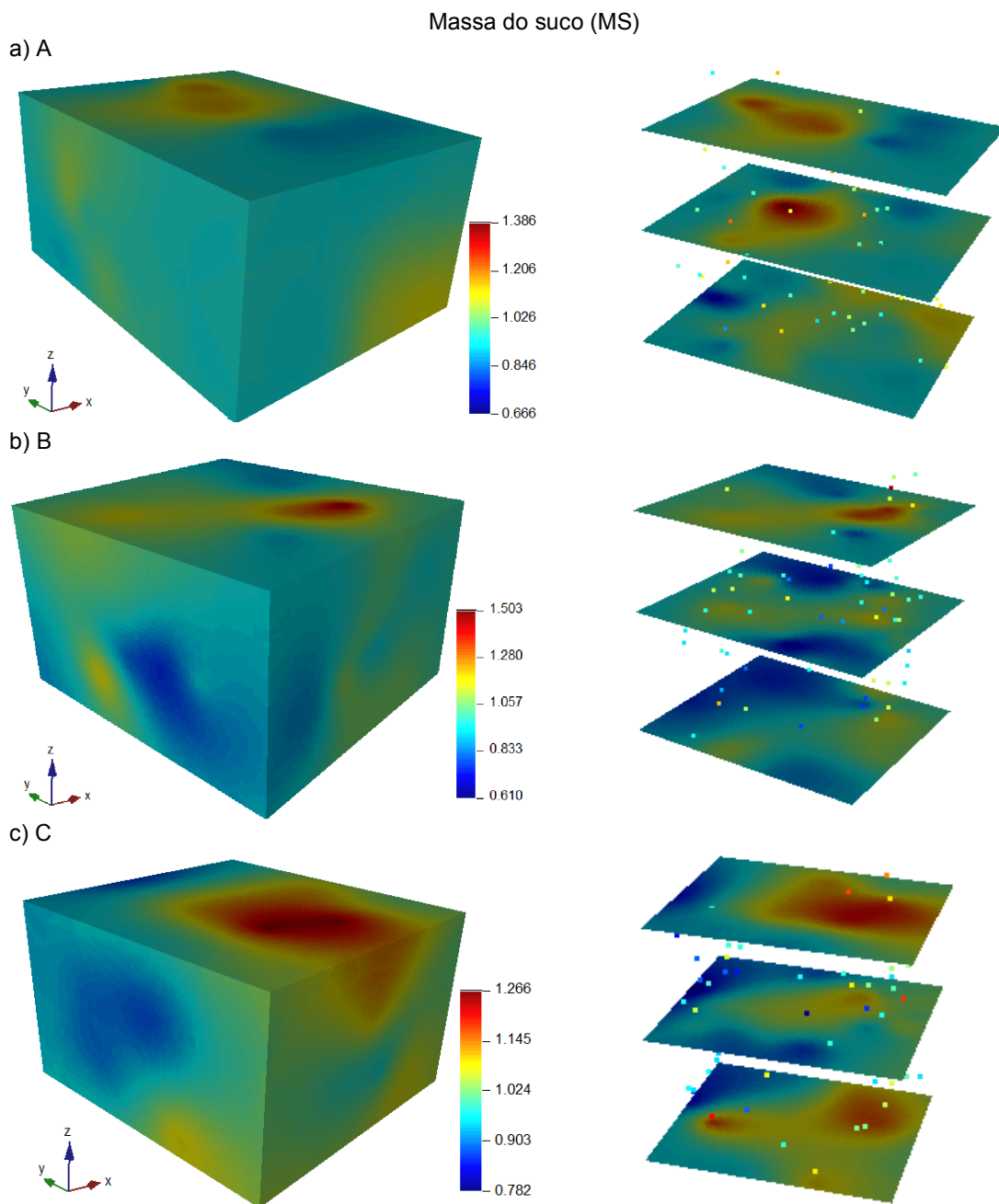


Figura 44 Mapas tridimensionais referentes à distribuição espacial da média normalizada da massa do suco (MS) de frutos em pomar de laranjas, nas árvores A, B e C, no triênio 2011, 2012 e 2013, Nova Laranjeiras, PR.

Os mapas do atributo massa do suco apresentam distribuição espacial semelhante à massa do fruto e diâmetro. Na árvore A, valores de MS acima da média concentram-se nos terços intermediário e apical na região norte da árvore enquanto valores abaixo da média apresentam-se mais distintos no terço apical na região sul e, no terço basal na região norte da árvore. Na árvore B, valores acima da média se concentram em todos os terços nas regiões NE e SO. Para a árvore C, valores acima da média concentram-se na região sul da árvore e valores abaixo da média na região norte da árvore, em todos os terços. A Figura 45 apresenta os mapas da massa do suco para as árvores D, E e F.

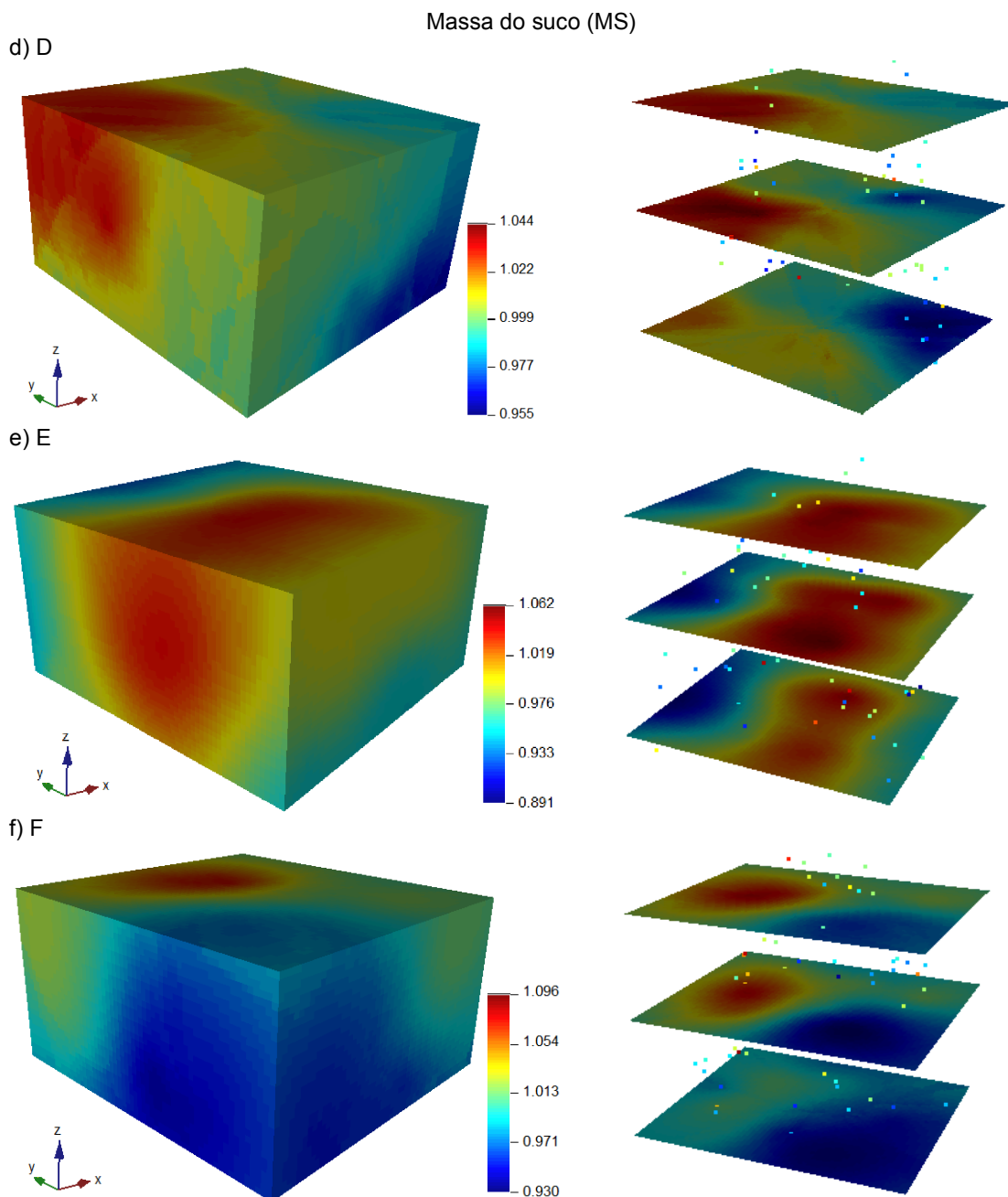


Figura 45 Mapas tridimensionais referentes à distribuição espacial da média normalizada da massa do suco (MS) de frutos em pomar de laranjas, nas árvores D, E e F, no triênio 2011, 2012 e 2013, Nova Laranjeiras, PR.

Na árvore D, valores abaixo da média concentram-se na região SE da árvore e valores acima da média nas demais regiões, em todos os terços. A predominância de valores de MS abaixo da média na árvore E localiza-se na parte extrema norte em todos os terços enquanto que valores acima da média predominam nas demais regiões, em todos os terços. Na árvore F, os valores acima da média para a MS se concentram ao norte da árvore com maior ênfase no terço apical. Todavia, valores abaixo da média se concentram na região SO em todos os terços, com maior ênfase no terço basal. Na Figura 46, os mapas da massa do suco estão apresentados para as árvores G, H e I.

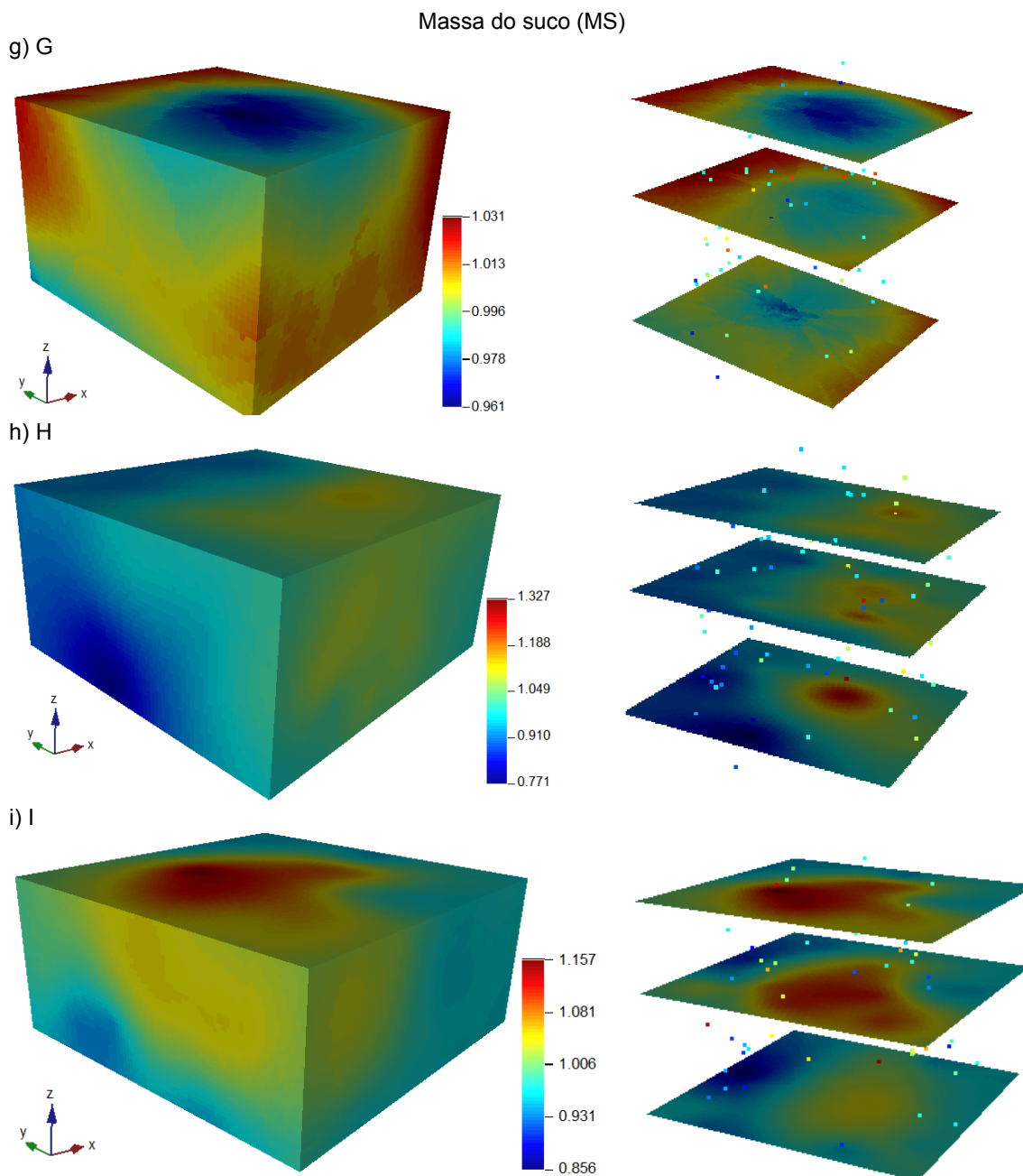
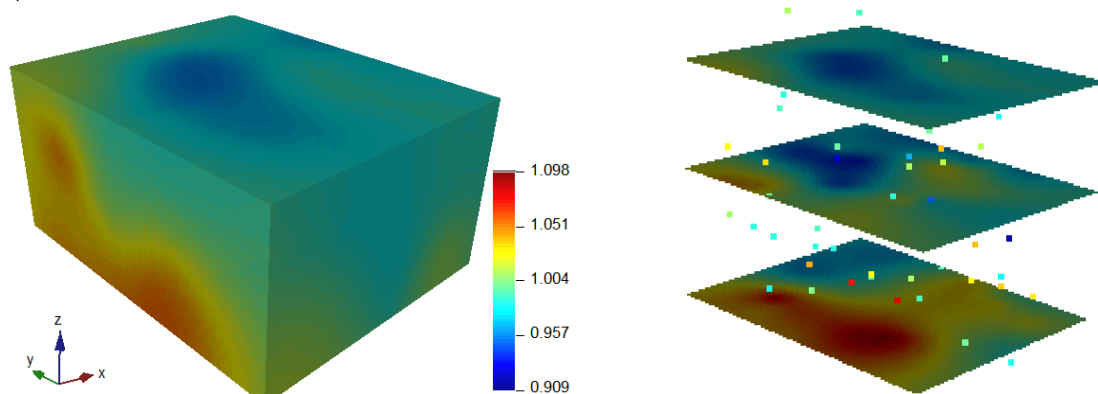


Figura 46 Mapas tridimensionais referentes à distribuição espacial da média normalizada da massa do suco (MS) de frutos em pomar de laranjas, nas árvores G, H e I, no triênio 2011, 2012 e 2013, Nova Laranjeiras, PR.

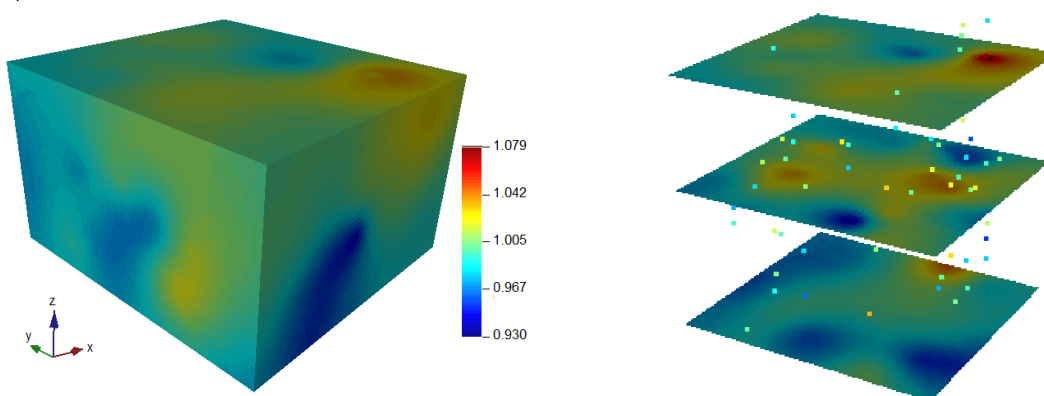
Para a árvore G, a distribuição de valores é mais aleatorizada, logo, indica que os valores abaixo da média apresentam-se mais destacados no terço apical e na área central da árvore (plano xy). Na árvore H, os valores acima da média, para os três terços, localizam-se na região sul da árvore com maior concentração no terço basal. Valores abaixo da média são bem distintos no terço basal na região NO. Para a árvore I, os valores abaixo da média são distintos no terço basal na área norte da árvore e com valores acima da média predominantes nos terços intermediário e apical na área central da árvore. Na Figura 47, os mapas do rendimento do suco estão apresentados nas árvores A, B e C.

Rendimento do suco (RS)

a) A



b) B



c) C

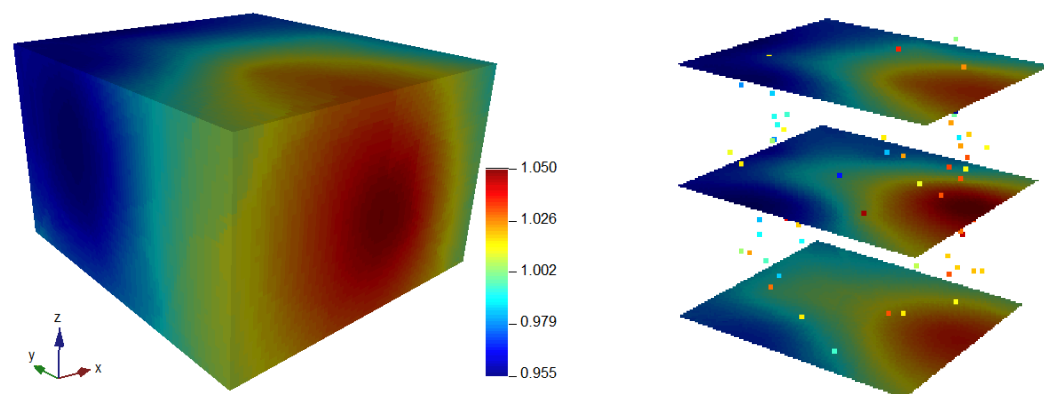
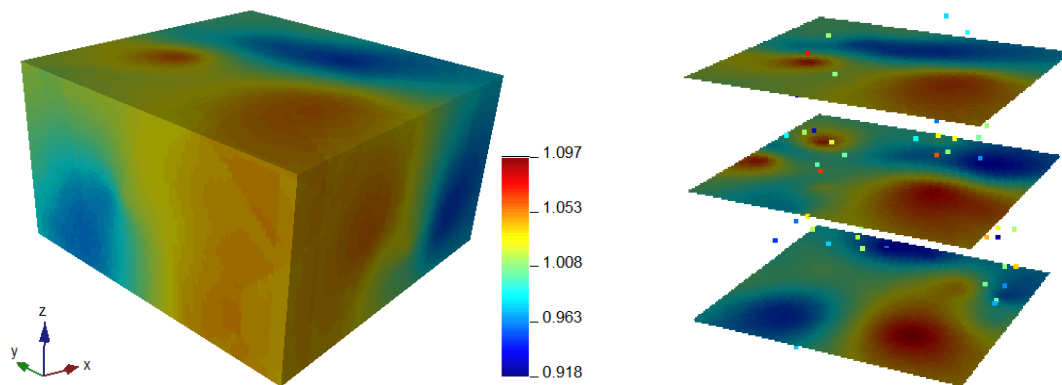


Figura 47 Mapas tridimensionais referentes à distribuição espacial da média normalizada do rendimento do suco (RS) de frutos em pomar de laranjas, nas árvores A, B e C, no triênio 2011, 2012 e 2013, Nova Laranjeiras, PR.

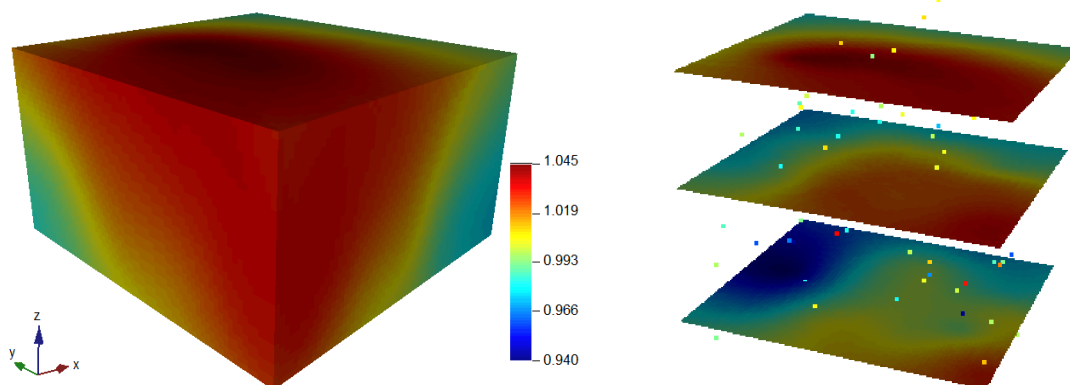
Máximos valores de RS para a árvore A foram encontrados no terço basal na região centro-oeste enquanto os menores valores foram registrados nos demais terços nas regiões norte e NE do terço basal. Para a árvore B, a distribuição espacial foi aleatória, com tendência de maiores valores de RS no terço intermediário (regiões NO e SE) e no terço apical (região leste). Para a árvore C, os valores acima da média concentram-se na parte sul da árvore enquanto os valores abaixo da média na parte norte da árvore, em todos os terços. A Figura 48 apresenta os mapas do rendimento do suco para as árvores D, E e F.

Rendimento do suco (RS)

d) D



e) E



f) F

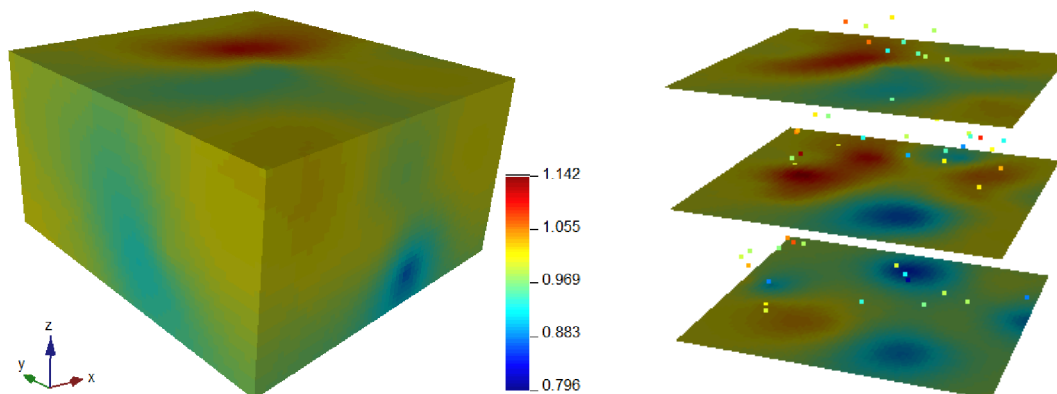
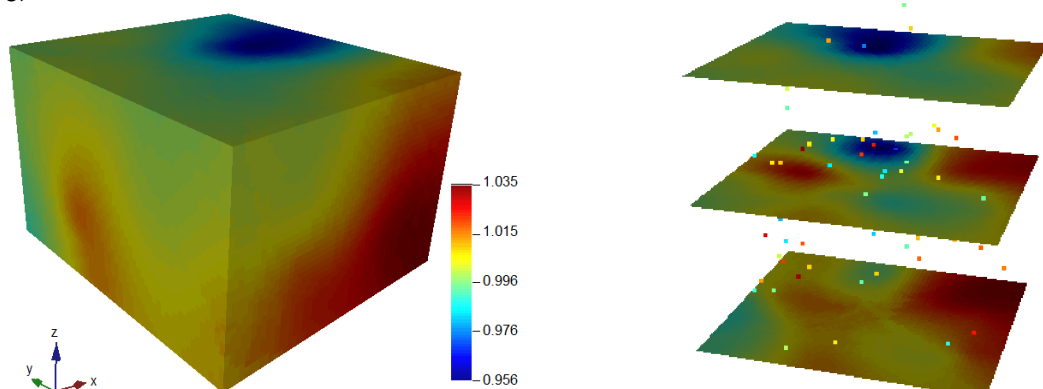


Figura 48 Mapas tridimensionais referentes à distribuição espacial da média normalizada do rendimento do suco (RS) de frutos em pomar de laranjas, nas árvores D, E e F, no triênio 2011, 2012 e 2013, Nova Laranjeiras, PR.

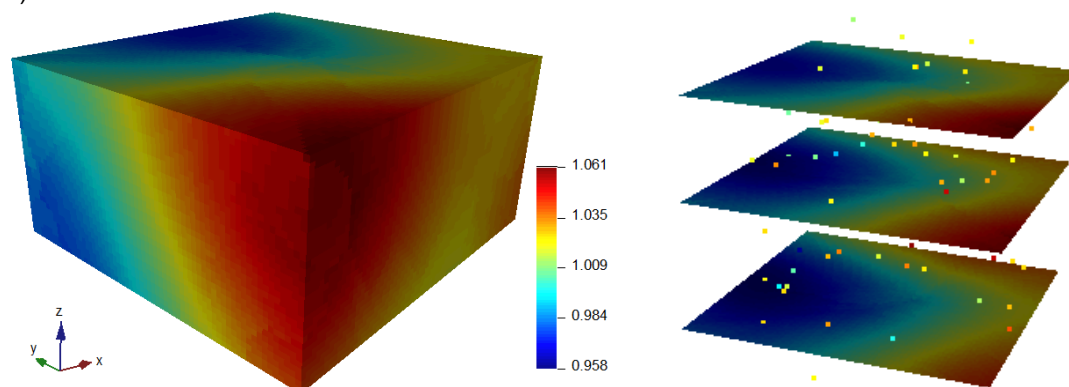
A distribuição espacial do RS para a árvore D mostrou valores acima da média localizados na região SO em todos os terços e valores abaixo da média nas regiões SE em todos os terços. Para a árvore E, os valores acima da média de RS concentraram-se fortemente nos terços apical e intermediário e aqueles que estão abaixo da média ficam no terço basal principalmente na região norte da árvore. Na árvore F, uma distribuição aleatória foi identificada, mas com pequena predominância de valores acima da média na região NE e de valores abaixo da média na região sul da árvore. Na Figura 49, os mapas temáticos do rendimento de suco são apresentados para as árvores G, H e I.

Rendimento de suco (RS)

g) G



h) H



i) I

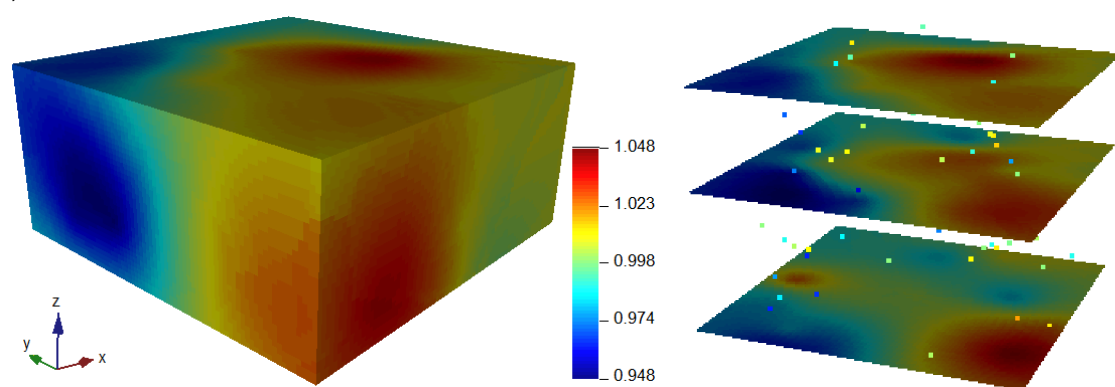


Figura 49 Mapas tridimensionais referentes à distribuição espacial da média normalizada do rendimento do suco (RS) de frutos em pomar de laranjas, nas árvores G, H e I, no triênio 2011, 2012 e 2013, Nova Laranjeiras, PR.

Para a árvore G, os valores abaixo da média são distintos na região NE nos terços apical e intermediário enquanto os valores acima da média concentram-se nos três terços nas demais regiões. Na árvore H, os valores acima da média, para os três terços, localizam-se na região sul da árvore. Valores abaixo da média são bem distintos em todos os terços na região norte da árvore. Para a árvore I, o comportamento da variabilidade espacial do RS é semelhante à árvore H.

I.5.8 Modelo geral do pomar

Os dados dos atributos físicos dos frutos de laranjas contaram com nove repetições (árvores), coletados no período de 03 safras (2010/2011, 2011/2012 e 2012/2013), com o total de 715 frutos coletados e analisados. Pelas análises dos mapas bidimensionais e tridimensionais, verifica-se que a variabilidade espacial dos atributos estudados não segue padrão de comportamento, quando estes são analisados entre árvores e entre terços. Entretanto, para que se tenha visão geral do comportamento das variáveis e para se modelar a variabilidade espacial tridimensional do pomar de laranjas, os dados de localização geográfica dos frutos de cada árvore foram recalculados e transportados para coincidir em apenas uma árvore, preservando suas coordenadas de cota vertical e de valores normalizados dos atributos físicos dos frutos.

Para a variável D, a média geral foi de 81,89 mm (Tabela 10), com valores variando de 59,62 a 100,34 mm. O CV foi considerado baixo com valor de 7,53%. A variável MF apresentou média de 292,74 g, variação de 119,04 a 517,26 g e CV de 21,80%, o qual foi classificado como alto. Com relação à MS, a média foi de 128,91 g, com valores variando de 34,43 a 222,65 g e CV classificado como alto, com valor de 23,38%. O RS teve média de 44,11%, variando de 26,32 a 56,55%. O CV foi de 10,69% e classificado como médio.

Tabela 10 Médias de valores dos atributos físicos com relação à posição dos frutos nos terços de nove árvores em pomar de laranjeiras, no triênio 2011, 2012 e 2013, Nova Laranjeiras, PR

Terço	D (mm)	MF (g)	MS (g)	RS (%)
Basal	81,37	287,47	124,52	43,51
Intermediário	81,57	290,93	128,61	44,27
Apical	82,98	301,90	134,42	44,53
Geral	81,89	292,74	128,91	44,11

D: diâmetro equatorial do fruto; MF: massa do fruto; MS: massa do suco; RS: rendimento do suco.

Na média geral, o terço apical sempre apresentou valor numérico maior, seguido do terço intermediário e com menor valor, o terço basal. LEMOS et al. (2012) afirmam que não houve diferenças estatísticas significativas no diâmetro transversal entre frutos situados nas diferentes cotas da copa de laranjeira cultivar Pera Rio, mas em relação à cultivar Natal, apresentaram diferença estatística significativa do terço basal para o apical. Existe também uma concordância com Tustin et al. (1988), em trabalho sobre a influência da penetração da

luz na copa de macieiras Granny Smith, no tamanho dos frutos, cujos autores afirmam que os frutos da periferia são maiores que os frutos do interior da copa e que o tamanho dos frutos aumentaram conforme o aumento da sua cota na árvore.

Com relação às médias da MF, estas também aumentaram, conforme o aumento da cota dos frutos na árvore, concordando com resultados encontrados por Lemos et al. (2012), cujos frutos na parte apical possuíram até 12,88% mais massa que frutos da parte basal.

As médias também aumentaram conforme o aumento da cota dos frutos na árvore para a MS, resultado esperado pela relação direta da MS com a MF e o D dos frutos. No entanto, para o atributo RS, as médias entre os terços foram semelhantes. Sites e Reitz (1950) não encontraram diferenças significativas no RS com relação à posição na copa dos frutos da variedade Valência, mas mostraram que os frutos expostos ao sol apresentaram casca mais fina que aqueles sombreados ou localizados no interior da copa. Estudando pomelos, Syversten e Albrigo (1980) também não encontraram diferenças no RS que pudessem estar associadas à posição dos frutos na árvore.

Na Tabela 11 estão os resultados da análise geoestatística, assim como o melhor modelo ajustado para cada atributo, parâmetros estimados e respectivas classificações de dependência espacial.

Tabela 11 Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais dos atributos físicos de frutos em pomar de laranjas, Nova Laranjeiras, PR.

Variáveis	Modelos	C_0	C_1	$C_0 + C_1$	a (m)	IDE (%)	Dependências
D	Gaussiano	0,0017	0,0042	0,0060	0,027	28,98	Moderada
MF	Esférico	0,0218	0,0215	0,0432	0,038	50,32	Moderada
MS	Esférico	0,0257	0,0221	0,0477	0,040	53,76	Moderada
RS	Gaussiano	0,0072	0,0010	0,0081	0,407	88,01	Fraca

D: diâmetro equatorial do fruto; MF: massa do fruto; MS: massa do suco; RS: rendimento do suco; C_0 : efeito pepita; C_1 : contribuição (*partial sill*); $C_0 + C_1$: patamar; a: alcance; IDE: índice de dependência espacial.

Pela análise geoestatística, verifica-se que o alcance foi maior para o RS, com valor de 0,407 m e menor valor de 0,027 m para o D. A dependência espacial variou de fraca (RS) a moderada (D, MF e MS). Os mapas bidimensionais (x, y) dos atributos estão apresentados na Figura 50.

De acordo com o mapa temático do D, verifica-se que a tendência de valores acima da média normalizada concentra-se nas regiões central e SE. A mesma tendência segue para os mapas da MF e MS, o que era de se esperar, visto a relação direta entre ambos.

Com relação à MS, verifica-se, no extremo norte, que a concentração de valores extremos está abaixo da média. O mapa temático do RS apresenta a tendência de valores acima da média se localizarem na região SO, enquanto uma pequena porção dos mesmos estão na região centro-NO. Valores abaixo da média se destacam nas áreas extremo leste e extremo norte do mapa.

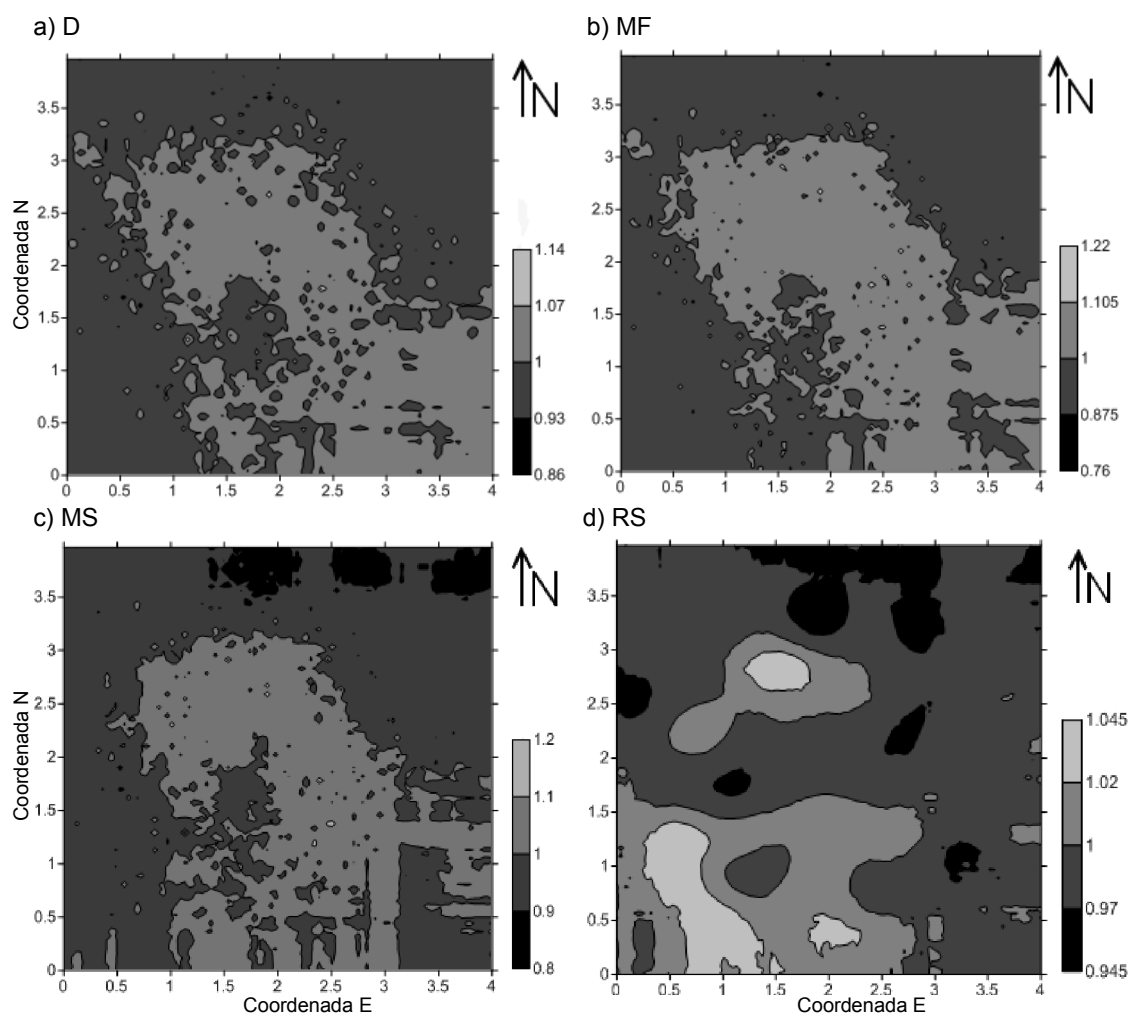


Figura 50 Mapas bidimensionais referentes à distribuição espacial da média normalizada dos atributos físicos de frutos em pomar de laranjas, no triênio 2011, 2012 e 2013, Nova Laranjeiras, PR.

A análise da variabilidade espacial tridimensional no conjunto de dados geral requer a construção de novo grid tridimensional (Figura 51a). Para tal, as novas coordenadas máximas foram 4,002; 3,966 e 2,269 m, perfazendo 81, 80 e 46 voxels, para x, y e z, respectivamente. A representação bidimensional dos frutos é ilustrada na Figura 51b.

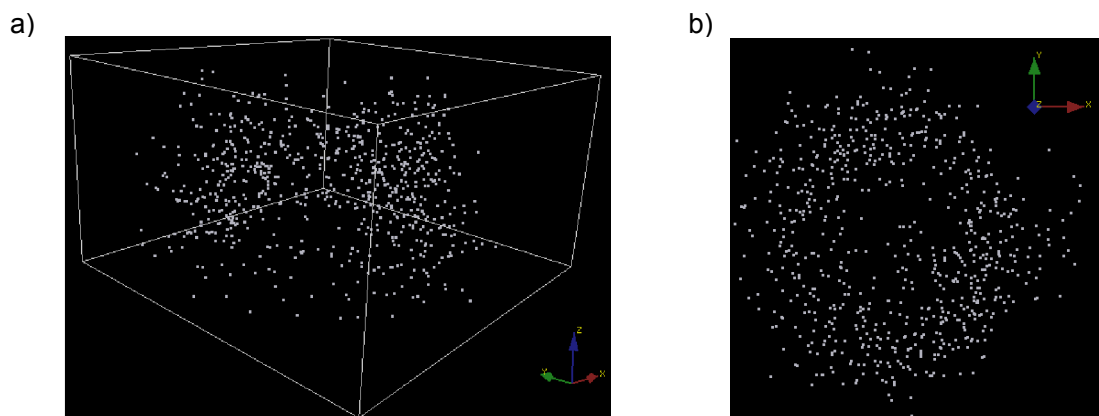
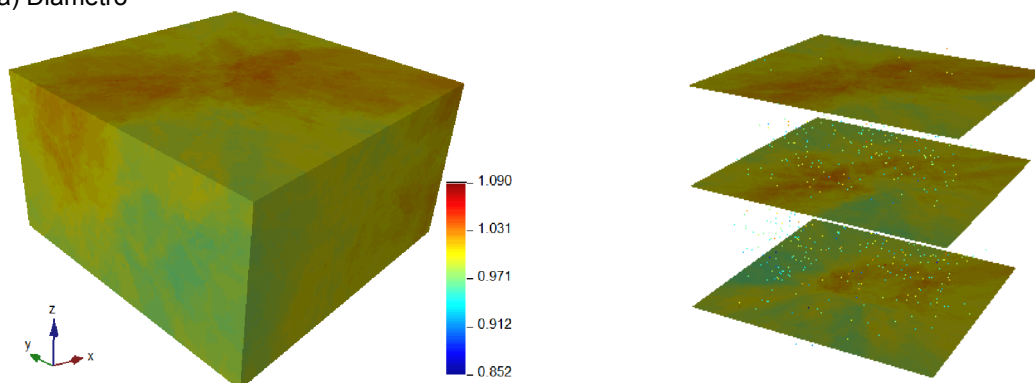


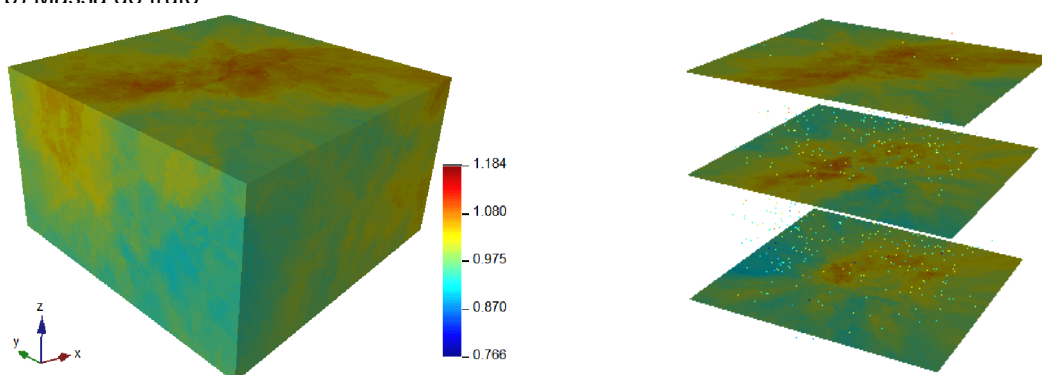
Figura 51 Grid tridimensional com posição de 715 frutos de laranja (a) e respectivo plano xy (b).

Os mapas tridimensionais e em cortes no eixo z, considerando as nove árvores sobrepostas, estão ilustrados na Figura 52.

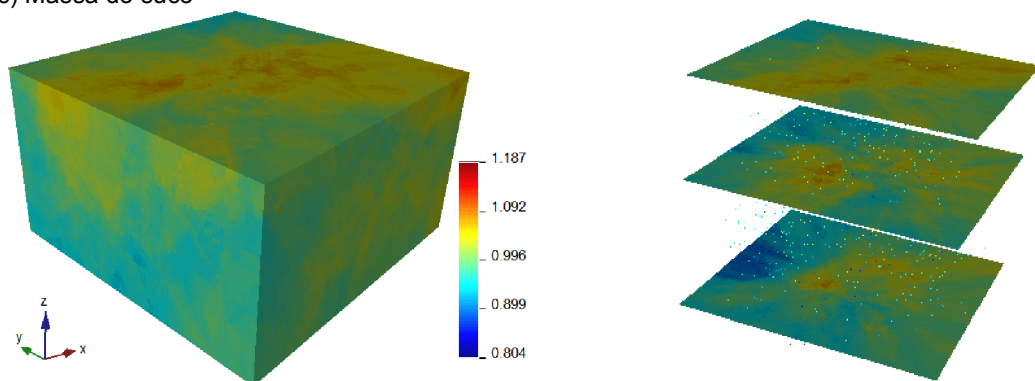
a) Diâmetro



b) Massa do fruto



c) Massa do suco



d) Rendimento do suco

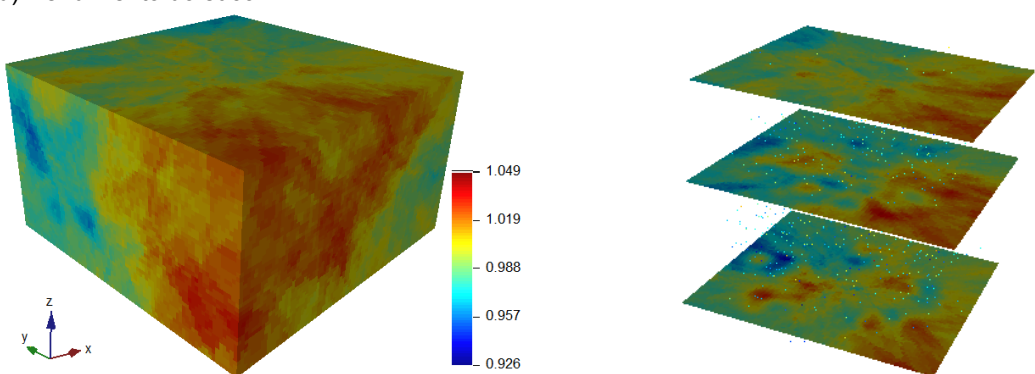


Figura 52 Mapas tridimensionais referentes aos atributos físicos e em cortes no eixo z, de nove árvores sobrepostas, em pomar de laranjas, triênio 2011, 2012 e 2013, Nova Laranjeiras, PR.

O mapa tridimensional do diâmetro apresenta a tendência de os valores acima da média estarem localizados nas regiões central, NO e SE, no terço apical e intermediário. Já no terço basal, tal concentração é mais destacada nas regiões central e SE. O mapa com cortes no eixo z revela que os maiores valores de diâmetro são encontrados com o aumento da cota do fruto.

Os valores krigados do diâmetro ficaram mais próximos da média com o aumento do número de amostras, logo, concordam com o seu CV que foi considerado baixo com valor de 7,53%, semelhante ao rendimento de suco com CV de 10,69%, com valores krigados também mais próximos à média.

Com relação à massa do fruto, o mapa temático é bastante semelhante ao mapa do diâmetro, o qual enfatizam valores abaixo da média, localizados no terço basal na região norte e no terço intermediário nas regiões NE e SO. O mapa com cortes no eixo z revela que maiores valores de massa do fruto são encontrados com o aumento da cota dos frutos.

O mapa temático tridimensional da massa do suco apresenta-se semelhante aos anteriores, mostrando que os valores abaixo da média concentram-se no terço basal nas áreas norte e oeste. No terço apical, a predominância é de valores acima da média, ou seja, maiores valores de massa do suco são encontrados com o aumento da cota dos frutos.

Quanto ao rendimento do suco, valores acima da média concentram-se na região sul e valores abaixo da média concentram-se na região norte do mapa, em todos os terços. A partir da análise do mapa temático do rendimento do suco, não é possível afirmar que os mesmos tenham alguma correlação com a cota dos frutos, mas, sim com a posição do fruto em relação ao sol. Frutos que receberam maior incidência da radiação solar tenderam a ter menor rendimento de suco.

I.6 CONCLUSÕES

- Os atributos físicos dos frutos de laranja apresentaram correlação linear muito fraca e fraca com relação à posição que os mesmos ocupam na árvore.
- Existe tendência de aumento de valores dos atributos diâmetro (D), massa do fruto (MF) e massa do suco (MS) à medida que aumenta a posição vertical dos frutos.
- O rendimento do suco (RS) apresenta concentrações de valores acima da média na região sul da árvore, onde, para a latitude e período do ano de produção dos frutos, tal região recebeu menor incidência de radiação solar.
- O rendimento do suco não se correlacionou com a posição vertical dos frutos.
- A metodologia utilizada para a geração dos mapas temáticos tridimensionais mostrou-se adequada ao estudo tridimensional dos atributos de frutos.

I.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGABBIO, M.; LOVICU, G.; PALA, M.; D'HALLEWIN, G.; MURA, M.; SCHIRRA, M. Fruit canopy position effects on quality and storage response of 'Tarocco' oranges. **Acta Horticulturae**, v. 485, p. 19-24, 1999.

ALBRIGO, G. Influências ambientais no desenvolvimento dos frutos cítricos. In: DONADIO, L. C. (Ed.). **Seminário internacional de citros: Fisiologia**, 2, Bebedouro: Fundação Cargill, 1992. p.100-106.

ANDRIOTTI, J. L. S. **Notas de Estatística e Geoestatística**. UNISINOS, 2004. 1 ed. 168p.

ARMINDO, R. A.; COELHO, R. D.; TEIXEIRA, M. B. Avaliação da variabilidade espacial de macro e micronutrientes em pomar de citros manejado com irrigação localizada. In: CONBAP 2008, Piracicaba-SP. **Anais...Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão - CONBAP**, 2008.

ARAÚJO, P. S. R.; MOURÃO FILHO, F. A. A.; SPOSITO, M. B. Pegamento de frutos de laranjeira 'Pêra' em diferentes alturas na copa relacionado aos quadrantes geográficos. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.56, n.1, 1999.

AULER, A. P. M.; FIDALSKI, J.; PAVAN, M. A.; NEVES, C. S. V. J. Produção de laranja Pera em sistemas de preparo do solo e manejo nas entrelinhas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.32, n.1, p. 363-374, 2008.

BAZZI, C. L.; SOUZA, E. G.; URIBE-OPAZO, M. A.; SANTOS, D.; KONOPATZKI, M. R. S. Uso da validação cruzada na seleção de modelos de semivariogramas. In: XXXVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 2009, Petrolina/Juazeiro. **Anais...XXXVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, 2009. v. 1. p. 1-4.

BERNARDI, A. C. de C.; VAZ, C. M. P.; RESENDE, A. V. de; BASSOI, L. H.; ABREU, V. M. N.; LUCHIARI JUNIOR, A.; MACHADO, P. L. O. de A.; REIS FILHO, J. C.; INAMASU, R. Y. Agricultura de precisão no Brasil: adoção, resultados e perspectivas. In: Curso internacional de Agricultura de Precisión, 8.; Expo de Máquinas Precisas, 3, 2008, Córdoba: INTA Manfredi, **Anais...Córdoba**, 2008.

BORGES, A. L.; SOUZA, L. S. **Recomendações de calagem e adubação para abacaxi, acerola, banana, laranja, tangerina, lima ácida, mamão, mandioca, manga e maracujá**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical. 2009, 176p.

CAMARGO NETO, J.; MIRANDA, J. I. Orange Tree Counting and Canopy Diameter Estimation with Genetic Algorithm. In: International Symposium on Application of Precision Agriculture for Fruits and Vegetables. **Acta Horticulturae**, CD-ROM, Bélgica, 2009.

CAMBARDELLA, A. C.; 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**, Stanford, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994.

CARVALHO, J. R. P.; ASSAD, E. D. Análise espacial da precipitação pluviométrica no estado de São Paulo: comparação de métodos de interpolação. **Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 2, p. 377-384, 2005.

CHOI, Y.; PARK, H. Integrating GIS and 3D geostatistical methods for geotechnical characterization of soil properties. **Geological Society of London**, IAEG; n. 532, 2006.

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

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

CRUZ, M. C. M.; RAMOS, J. D.; OLIVEIRA, D. L.; MARQUES, V. B.; VILLAR, L. Características físico-químicas da tangerina Ponkan submetida ao raleio químico em ralação à disposição na copa. **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras, v. 34, n. 1, p. 37-42, 2010.

DELLAMEA, R. B. C.; AMADO, T. J. C.; BELLÉ, G. L.; LONDERO, G. T.; DONDÉ, R. J. Agricultura de precisão voltada à melhoria da fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2007. Gramado-RS. **Anais...**, Gramado-RS, 2007.

DETONI, A. M.; HERZOG, N.; OHLAND, T.; KOTZ, T. E. ; CLEMENTE, E. Influência do sol nas características físicas e químicas da tangerina 'Ponkan' cultivada no oeste do Paraná. **Revista Ciência e Agrotecnologia**. v. 33, p. 624-628, 2009.

DEUTSCH, C. V., JOURNEL, A. G. GSLIB: **Geostatistical Software Library and User's Guide**, 2 ed. Oxford, New York, 1998.

DOMINGUES, E. T.; TEÓFILO SOBRINHO, J.; TULMANN NETO, A.; MATTOS JR. D. Seleção de clones de laranja 'Pera' a variedades assemelhadas quanto à qualidade do fruto e ao período de maturação. **Laranja**, Cordeirópolis, v. 20, n. 2. p. 433-55, 1999.

DONADIO, L. C.; FIGUEIREDO, J. O.; PIO, R. M. **Cultivares cítricas brasileiras**. Jaboticabal: FUNEP, 1995, 228p.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2 ed. Rio de Janeiro, 2013, 397p.

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, 2003, v.25, n.2 p.235-241.

GASPARIN, E.; SOUZA, E.G.; BAZZI, C. L.; BIER, V. A. Variabilidade espacial tridimensional do diâmetro dos frutos de uma laranjeira. In: Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão – ConBAP 2010, 2010, **Anais...** Ribeirão Preto. 2010.

GASPARIN, E.; SOUZA, E. G.; BIER, V. A.; COELHO, S. R. M.; NICOLAU, R. F. Variabilidade espacial tridimensional do teor de sólidos solúveis de frutos de laranjeira. In: XL Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 2011, Cuiabá MT. **Anais...** Geração de tecnologias inovadoras e o desenvolvimento do cerrado brasileiro, 2011.

GBCM - Grupo Brasileiro de Citros de Mesa. **Programa Brasileiro para a Melhoria dos Padrões Comerciais e de Embalagens de Hortigranjeiros**. CEAGESP, 2000.

GUARDIOLA, J.L.; GARCÍA-LUIS, A. Increasing fruit size in Citrus: thinning and stimulation of fruit growth. **Plant Growth Regulation**, Dordrecht, v.31, p.121-132, 2000.

GUIMARÃES, E. C. **Geoestatística básica e aplicada**. UFU/FAMAT. Uberlândia, MG. 2004, 77p.

GRUNWALD, S.; BARAK, P. 3D geographic reconstruction and visualization techniques applied to land resource management. **Transactions in GIS**, vol. 7, n. 2, p. 231-241, 2003.

HE, Y.; HU, K. L.; CHEN, D. L.; SUTER, H. C.; LI, Y.; LI, B. G.; YUAN, X. Y.; HUANG, Y. F. Three dimensional spatial distribution modeling of soil texture under agricultural systems using a sequence indicator simulation algorithm. **Computers and Electronics in Agriculture**. v.71, n.1, p.24-31, 2010.

IESCHECK, A. L.; SLUTER, C. R.; DEDECEK, R. A. Visualização volumétrica aplicada às geociências. **Revista Pesquisas em Geociências**. Porto Alegre, v. 35, n.1, p. 71-84, 2008.

JOHANN, J. A.; SILVA, M. C. A.; URIBE-OPAZO, M. A.; DALPOSSO, G. H. Variabilidade espacial da rentabilidade, perdas na colheita e produtividade do feijoeiro. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.4, p.700-714. 2010.

JOURNEL, A. G. The indicator approach to estimation of spatial distributions. In: **Proceedings of the 17th APCOM**, SME-AIME, 1982, Golden, Colorado, USA, p.793-806.

JOURNEL, A. G. **Fundamentals of geostatistics in five lessons**. Washington: American Geophysical Union. 1989. 40p. (Short Course in Geology, v. 8).

KOLLER, O. C. **Citricultura: 1. Laranja: Tecnologia de Produção, Pós-Colheita, Industrialização e Comercialização**. Editado por I. Manica. – Porto Alegre: Cinco Continentes, 2006, 396 p.

KONOPATZKI, M. R. S. **Variabilidade espacial e temporal da produtividade, atributos do solo, planta e características físico-químicas de frutos em pomar de peras**. 2011. 153p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2011.

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

LEMOS, L. M. C.; SIQUEIRA, D. L.; SALOMÃO, L. C. C.; CECOM, P. R. LEMOS, J. P. Características físico-químicas de laranja-pera em função da posição na copa. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal - SP, v. 34, n. 4, p. 1091-1097, 2012.

LOPES, M. V.; OLIVEIRA, C. A. L.; BARRETO, M.; BARBOSA, J. C.; ROSSI, F. M. Dimensionamento de amostras para monitoramento do ácaro da leprose *Brevipalpus phoenicis* (Geijskes, 1939) em citros. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.29, p.671-676, 2007.

MAGALHÃES, A. F. D. J. **Nutrição mineral e adubação dos citros irrigado**. Cruz das Almas: Embrapa, 2006, 12p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafos, 2.ed., 1997, 319 p.

MARCHI, R. J. **Modelagem de curvas de maturação da laranja Pera (*Citrus sinensis* L. Osbeck) na região de Bebedouro - SP**. 1993. 107 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1993.

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

MEDEIROS, J. C.; ALBUQUERQUE, J. A.; MAFRA, L. A.; DALLA ROSA, J.; GATIBONI, L. C. Relação cálcio:magnésio do corretivo da acidez do solo na nutrição e no desenvolvimento inicial de plantas de milho em um cambissolo Húmico Álico. **Semina: Ciências Agrárias**. Londrina, v. 29. n.4, p. 799-806, 2008.

MERCANTE, E.; URIBE-OPAZO M. A. ; SOUZA E. G. Resistência mecânica do solo à penetração em áreas com e sem manejo químico localizado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, vol. 27, p.1149-1159, 2003.

MINCHIN, P. E. H.; THORPE, M. R.; WUNSCH, J. N.; PALMER, J. W.; PICTON, R. F. Carbon partitioning between apple fruits: short- and long-term response to availability of photosynthate. **Journal of Experimental Botany**, London, v.48, n.7, p.1401-1406, 1997.

MITAS, L.; MITASOVA, H. **Spatial interpolation**. Geographical Information Systems: Principles, Techniques, Management and Applications. London, v.1, p. 481-492, 1999.

MOLIN, J. P. **Agricultura de Precisão - O gerenciamento da variabilidade**. Piracicaba: 3 ed. 2008. 83 p.

NICOLAU, R. F.; MERCANTE, E.; SOUZA, E. G.; LIMA, P. H. P.; GASPARIN, E. Variabilidade espacial dos atributos do fruto da laranja em relação à altimetria do terreno. In: Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão, 2012, Ribeirão Preto/SP. **Anais...** Ribeirão Preto, 2012.

NICOLAU, R. F. **Variabilidade espacial da produtividade e das propriedades físicas e químicas de frutos e doenças foliares de laranjeiras**. Cascavel, PR: Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 96p. 2013.

OLIVEIRA, T. C. A.; MOLIN, J. P. Uso de piloto automático na implantação de pomares de citros. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v 31, n. 2, 2011.

OLSEN, S. R. Micronutrient Interactions. In: MORTVEDT, J. J.; GIORDANO, P. M.; LINDSAY, W. L. **Micronutrients in agriculture**. Madison: Soil Science Society of America, p. 243-264, 1972.

PAIVA, A. C.; SEIXAS, R. B.; GATTASS, M. **Introdução à visualização volumétrica**. PUC-Rio. Inf. MCC 03/99. Rio de Janeiro, 1999. 106 p.

PANZENHAGEN, N. V.; KOLLER, O. C.; VAQUIL, P. D.; SOUZA, P. V. D.; SOGLIO, F. K. D. **Aspectos técnico-ambientais da produção orgânica na região citrícola do Vale do Rio Caí, RS**. Ciência Rural, Santa Maria, 2008, v. 38, n. 1, p. 90-95.

PIMENTEL GOMES, F.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agronômicos e florestais**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309p.

PRATES, H. M.; MANZINI, F. F.; PLICAS, L. M. A.; LISBOA, D. C. O. **Teores elevados de manganês em amostras de solos**. Fórum Ambiental da Alta Paulista. 2011, v. 7, n. 12, p. 1563-1574.

QUAGGIO, J. A.; MATTOS JR, D.; CANTARELLA, H. **Fruit yield and quality of sweet oranges affected by nitrogen, phosphorus and potassium fertilization in tropical soils**. Fruits, Paris, 2006, v. 61, p. 293-302.

REMY, N.; BOUCHER, A.; WU, J. **Applied geostatistics with SGeMS: a user's guide**. Cambridge University Press, Cambridge, 264p. 2009.

ROBERTO, S.R.; FARIAS, P.R.S.; BERGAMIN FILHO, A. Geostatistical analysis of spatial dynamics of Citrus Variegated Chlorosis. **Fitopatologia Brasileira**. Brasília, v. 27, p. 599-604. 2002.

ROCHA, A. C.; TAVARES, E. D.; SANDRINI, M.; PAIVA, R.; CARVALHO, S. A. Época e intensidade de florescimento e pegamento de frutos segundo a distribuição pelos

quadrantes em laranjeiras. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.25, n.1, p.85-88, 1990.

ROSA, E. F. F.; STUPP, J. J.; AMARANTE C. V. T; MAFRA, A. L. Atributos físicos do solo em pomares de maçãs Royal Gala em sistemas convencional e orgânico de produção. **Revista de Ciências Agro veterinárias - UDESC**, v. 11, p. 187-195, 2012.

ROVIRA-MÁS, F.; ZHANG, Q.; REID, J. F. Stereo vision three-dimensional terrain maps for precision agriculture. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 60, p. 133-143, 2008.

SCHAFER, G.; KOLLER, O. C.; SARTORI, I. A.; CASALI, M. E.; LIMA, J. G. Efeito de reguladores de crescimento, aplicados em diferentes épocas, de da incisão anelar dos ramos principais sobre a produção da laranjeira de umbigo 'Monte Parnaso'. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.31, n.4, p.577-58, 2001.

SILVA, A. P. da; LIBARDI, P. L.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial 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, V. R.; REICHERT, J. M.; STORCK L.; FEIJÓ S. Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em um Argissolo vermelho-amarelo Distrófico Arênico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.6, p.1013-1020, 2003.

SIQUEIRA, D. S.; MARQUES JR. J.; PEREIRA, G. T. The use of landforms to predict the variability of soil and orange attributes. **Geoderma**, Amsterdam, v.156, p.55-66, 2010.

SITES, J. W.; REITZ, H. J. The variation in individual Valencia oranges from locations of the tree as a guide to sampling methods and spot-picking for quality. I. Soluble solids in the juice. In: **Proceedings American Society Horticultural Science**. 1949. v. 54, p. 1-10.

SITES, J. W.; REITZ, H. J. The variation in individual Valencia oranges from locations of the tree as a guide to sampling methods and spot-picking for quality. III. Vitamin C and juice content of the fruit. In: **Proceedings American Society Horticultural Science**. 1950. v. 56, p. 103-110.

SOARES, A. **Geoestatística para as Ciências da Terra e do Ambiente**. Lisboa: ed. IST, 2006. 214 p.

SOUZA, C. K. **Variabilidade espacial de atributos de solo e produtividade em área cultivada com café orgânico e convencional**. 2006. 74 p. Tese de Doutorado. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Unesp, Jaboticabal. 2006.

SOUZA, T. R., VILLAS BÔAS, R. L., QUAGGIO, J. A., SALOMÃO, L. C., FORATTO, L. C. **Dinâmica de nutrientes na solução do solo em pomar fertirrigado de citros**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 2012, v. 47, n. 6, p. 846-854.

SYVERTSEN, J. P.; ALBRIGO, L. G. Some effects of grapefruit tree canopy position on microclimate, water relations, fruit yield, and juice quality. **Journal of the American Society for Horticultural Science**.v.105, p.454-9, 1980.

SUSZEK, G. ; SOUZA, E. G. ; NOBREGA, L. H. P. ; KONOPATZKI, M. R. S. ; BAZZI, C. L. . Validação Cruzada para avaliação do comportamento espacial do nitrogênio, potássio, cálcio e concentração de sólidos solúveis em pomar de citros. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola,38, 2009, Juazeiro BA/Petrolina PE. **Anais...** Juazeiro BA/Petrolina PE, 2009.

SUSZEK, G. **Variabilidade espacial e temporal das propriedades químicas do solo e das folhas, qualidade do fruto e produtividade em pomar de laranja Monte Parnaso.** Cascavel, PR: Tese de doutorado, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2011, 122p.

SWINDELL, J. **Mapping the spatial variability in the yield potential of arable land through GIS analysis of sequential yield maps.** In: 1st European Conference on Precision Agriculture. BIOS Scientific.p.827-834.Warwich - UK. 1997.

TREVISAN, M. G. **Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de laranja valência (*Citrus sinensis*(L.) Osbeck).** 2008. 45f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade de Marília, Marília, 2008.

TRIBONI, H. R.; BARBOSA, J. C. Estimativa do número de frutos em pomares de laranja. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 26, n. 3, p. 454-458, 2004.

TUCKER, D.P.H.; WHEATON, T.A.; MURARO, R.P. **Citrus tree spacing and pruning.** Lake Alfred: University of Florida, Institute of Food and Agricultural Sciences, 1991. 15p.

TUSTIN, D. S.; HIRST, P. M.; WARRINGTON, I. J. Influence of orientation and position of fruiting laterals on canopy light penetration yield and fruit quality of Granny Smith apple. **Journal of the American Society for Horticulture Science**, v. 113, p.693-9, 1988.

VILELA, L. C.; CATANEO, A. Análise do método de interpolação krigagem ordinária aplicado à pesquisa agrônômica. **Energia na Agricultura**, Botucatu, vol. 24, n.1, 2009, p.85-104.

VOLPE, C. A.; SCHOFFEL, E. R.; BARBOSA, J. C. Influência da soma térmica e da chuva durante o desenvolvimento de laranjas 'Valência' e 'Natal' na relação entre sólidos solúveis e acidez e no índice tecnológico do suco. **Revista Brasileira de Fruticultura**. Jaboticabal, v. 24, n. 2, 2002.

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. **Geoestatística: conceitos e aplicações.** São Paulo: Oficina de textos, 2013. 215p.

WACKERNAGEL, H. **Multivariate geostatistics.** Springer-Verlag, 1995.

WACKERNAGEL, H. **Multivariate Geostatistics: an introduction with applications.** Springer-Verlag, Berlim, 2003, 3 ed. 275p.

ZHANG, C.; McGRATH, D. Geostatistical and GIS analyses on soil organic carbon concentrations in grassland of southeastern Ireland from two different periods. **Geoderma**, Amsterdam, 2004, v.119, p.261-275.

CAPÍTULO II

VARIABILIDADE ESPACIAL TRIDIMENSIONAL DOS PARÂMETROS QUÍMICOS DOS FRUTOS EM POMAR DE LARANJAS**RESUMO**

A modernização tecnológica tem evidenciado a necessidade de se conhecerem e mensurarem as variabilidades espacial e temporal quanto às características do solo e das culturas, a fim de melhorar a eficiência do processo produtivo, especialmente aquelas que interferem na produtividade. A laranja é a fruta de maior produção e consumo no Brasil e fonte de vitamina C (ácido ascórbico, AA). É importante saber o momento certo da colheita dos frutos cítricos para proporcionar as melhores condições organolépticas, qualidades químicas e que assegurem a qualidade desejada até seu processamento industrial ou o consumidor final *in natura*. A relação (*ratio*) entre o teor de sólidos solúveis totais (SST) e a acidez total titulável (ATT) pode ser um indicador do momento ideal de colheita de citros. Porém, em uma mesma árvore, os frutos podem estar em estágios diferentes de maturação. Assim, é de interesse saber qual a melhor região da árvore para se iniciar a colheita de forma contínua. Portanto, são objetivos desta pesquisa verificar a possível heterogeneidade e modelar a variabilidade espacial tridimensional dos atributos químicos dos frutos de laranja. O experimento foi conduzido no município de Nova Laranjeiras - PR, em pomar comercial de laranjas da variedade Monte Parnaso, em que foram analisados os teores de SST, ATT, *ratio* e AA de um total de 715 frutos provenientes de nove árvores, nos anos de 2011, 2012 e 2013. Os resultados evidenciaram que os atributos químicos dos frutos apresentaram fraca correlação em relação à posição que os mesmos ocupam na copa da árvore. Maiores valores de *ratio* foram encontrados na região norte das árvores, nos terços apical e intermediário. Maiores teores de AA foram encontrados no terço apical em relação ao terço basal. A metodologia utilizada mostrou-se adequada ao estudo tridimensional dos atributos químicos de frutos.

Palavras-chave: geoestatística, mapas tridimensionais, posição do fruto.

THREE DIMENSIONAL SPATIAL VARIABILITY OF CHEMICAL PARAMETERS OF ORANGE FRUIT IN AN ORCHARD

ABSTRACT

Technological modernization has shown the importance to know and measure spatial and temporal variability on soil and crops characteristics in order to improve the efficiency of production process, mainly those ones that affect yield. In Brazil, orange is the fruit with the largest production and consumption, besides it is an important source of vitamin C (ascorbic acid, AA). Thus, it is crucial to know the right time of harvesting the citrus fruits in order to provide the best chemical and organoleptic qualities, which ensure the desired quality to its industrial processing or the *in nature* final consumer. The ratio between total soluble solids content (TSS) and total titratable acidity (TTA) can be an indicator of the optimum moment to harvest citrus. However, in the same tree, the fruits may be at different stages of ripeness. Thus, it is important to know the best area of the tree to start harvesting continuously. Therefore, this trial aimed at verifying the possible heterogeneity and modeling the three-dimensional spatial variability of chemical attributes in oranges. The trial was carried out in Nova Laranjeiras-PR city, in a commercial orchard with Monte Parnaso orange variety, where the following contents were analyzed: TSS, TTA, ratio and AA from a total of 715 fruits in nine trees, during 2011, 2012 and 2013. The studied results have shown that fruits chemical parameters presented weak correlation in relation to their position at the treetop. Higher ratio values were found in the northern region of the trees, in the apical third and intermediate parts of the trees. Greater AA contents were found on the third apical part in relation to the basal third one. The methodology used was appropriate to the three-dimensional study of the chemical properties of fruits.

Keywords: geostatistics, three-dimensional maps, fruit position.

II.1 INTRODUÇÃO

A modernização tecnológica tem evidenciado a necessidade de que se conheçam e mensurem as variabilidades espacial e temporal das características do solo e das culturas, especialmente aquelas que interferem na produtividade, a fim de melhorar a eficiência do processo produtivo. Com o surgimento da agricultura de precisão, várias técnicas vêm sendo implantadas visando ao gerenciamento e à otimização do uso dos recursos e insumos de produção. O conhecimento da variabilidade espacial e temporal dos atributos físicos e químicos de frutos pode evidenciar a adoção de manejo diferenciado e localizado, no pomar ou na própria árvore.

Os estados de São Paulo no Brasil e da Flórida nos Estados Unidos são os maiores produtores de laranja (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck). O produto nacional tem grande inserção no mercado internacional devido à exportação de suco, principalmente o SCCL (Suco Concentrado Congelado de Laranja) com crescente demanda alavancada principalmente pelas suas características nutricionais.

A laranja é a fruta de maior produção e consumo no Brasil e, além de uma importante fonte de vitamina C, auxilia na resistência a infecções, na cicatrização de feridas e queimaduras, fortalece a estrutura óssea, auxilia na absorção da glicose, no funcionamento do intestino, na redução do colesterol e neutralização do ácido úrico (CEAGESP, 2011).

Embora a boa aparência dos frutos seja desejável, as características organolépticas como sabor, aroma, textura, cor e valor nutritivo são atributos importantes para o processamento industrial (POZZAN e TRIBONI, 2005). O sabor ácido ou doce dos frutos cítricos é dependente de quantidades relativas de açúcares e acidez, e esta relação indica o índice de maturação dos frutos.

As características climáticas locais também podem influenciar no crescimento e na qualidade do fruto. Além disso, a posição do fruto na planta é uma variável importante e pode resultar em diferenças qualitativas nos mesmos. Assim, é importante quantificar as propriedades químicas dos frutos com relação à sua posição tridimensional.

A radiação solar incidente, os níveis de fertilidade do solo e os índices pluviométricos também podem contribuir para a heterogeneidade das propriedades químicas dos frutos.

II.2 OBJETIVOS

II.2.1 Objetivo geral

- Modelar a variabilidade espacial tridimensional dos atributos químicos de frutos em pomar de laranjas.

II.2.2 Objetivos específicos

- Avaliar a variabilidade espacial tridimensional dos atributos químicos de frutos em pomar de laranjas por um período de três anos;
- Verificar a correlação dos atributos químicos com os atributos físicos e a posição tridimensional dos frutos;
- Gerar mapas temáticos tridimensionais dos atributos químicos dos frutos em pomares e estratificados em relação aos terços na árvore.

II.3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

II.3.1 Características botânicas das laranjeiras

As laranjeiras são plantas de folhas perenes que pertencem à divisão das Espermatófitas, subdivisão Angiospermas, classe Dicotiledôneas, subclasse Archimamídeas, ordem Geraniales, subordem Geraninas, família das Rutáceas, subfamília Aurantioideas, tribu das Cítreas, subtribu Citrinas e gênero *Citrus*. Existem duas espécies de laranjeiras: *Citrus sinensis* (L.) Osbeck e *Citrus aurantium* Lineu.

A espécie *Citrus sinensis* (L.) Osbeck pertence às laranjeiras-doces, que se caracterizam principalmente pelo sabor adocicado dos frutos, flores e frutos menores, casca mais fina e albedo pouco desenvolvido, quando comparadas com *Citrus aurantium* Lineu (laranjeiras-azedas).

As laranjas-doces podem ser classificadas em quatro categorias:

- 1) laranjas comuns ou do mediterrâneo - podem ser com ou sem sementes e dentre as laranjeiras comuns mais cultivadas no Brasil são exemplos as variedades: Valência, Pera, Natal, Folha-murcha, Hamlin (com sementes) e Salustiana, Shamouti e Valência seedless (sem sementes);
- 2) laranjas sem acidez - caracterizam-se pela ausência total da acidez, como as variedades laranja-lima, piralima, lima-verde e céu;
- 3) laranjas sanguíneas - caracterizam-se pela coloração roxo-escura de sua polpa, por exemplo, as variedades maltesa e moro;
- 4) laranjas-de-umbigo - não apresentam sementes, têm sabor especial e firmeza da polpa. São muito apreciadas para consumo ao natural, e, como exemplos, podem ser citadas as variedades Bahia, Baianinha, Monte Parnaso, Newhall, Navelina, Navelate, Nanelate. As laranjas azedas apresentam casca espessa e sabor amargo no suco. Entretanto, a casca é utilizada para preparo de doces e compotas. Podem ser citadas as variedades azedo-comum, azedo-adocicada e azedo-variante (KOLLER, 2006).

Ainda de acordo com Koller (2006), as raízes das laranjeiras doces são pouco profundas logo, são menos resistentes às secas. Para minimizar esta situação desfavorável, o limoeiro-cravo (*Citrus limonia* Osb.) é amplamente utilizado como porta-enxerto, cujas características são raízes profundas, as quais formam plantas mais resistentes às secas e tolerantes ao vírus da tristeza dos citros.

Segundo Viégas (1991), as cultivares Natal e Valência são as mais indicadas para a indústria, visto que proporcionam maior rendimento e qualidade de suco e por se manterem nas árvores por um período maior de tempo em comparação às outras cultivares.

A laranja doce comum de maior importância no mundo é a cultivar Valência, pois as árvores são muito produtivas, têm crescimento ereto e são muito vigorosas. Os frutos são de tamanho médio, forma arredondada e casca colorida, fina e lisa (SAUNT, 1992).

II.3.2 Laranjeira Monte Parnaso

No Brasil, as variedades de laranjeiras de umbigo têm importância histórica, cuja origem é do Estado da Bahia de uma mutação da laranjeira 'Seleta'. É conhecida como laranja Bahia ou Baianinha; possui excelentes qualidades para consumo como fruta fresca, dentre as quais destaca-se a ausência de sementes (STUCHI et al. 2010).

As frutas cítricas sem sementes (com exceção das laranjas-de-umbigo e do limão Taiti) ainda são pouco cultivadas, pouco conhecidas e, conseqüentemente, pouco comercializadas no Brasil. Na cidade de São Paulo, há mercado para frutas cítricas sem sementes, o qual está sendo atendido de maneira eficaz por frutas provenientes do Uruguai, na mesma época de colheita das frutas produzidas na metade sul do Rio Grande do Sul (SENNA et al., 2007).

A Monte Parnaso é a laranjeira-de-umbigo mais plantada no estado do Rio Grande do Sul, pois produz frutos de boa qualidade, grandes, com peso de 250 a 350 g e maturação tardia, cuja colheita ocorre de 15 de agosto a 30 de outubro. Entretanto, a variedade apresenta a desvantagem de ser pouco produtiva, colhendo-se, em média, 15 kg por árvore, o que equivale a 25% da produtividade da laranjeira Valência (KOLLER, 2006).

A baixa produtividade dessa variedade pode estar relacionada aos desequilíbrios nutricionais e hormonais, decorrentes da ausência de sementes e/ou florescimento excessivamente abundante, em cachos florais desprovidos de folhas, cujo resultado está associado à elevada queda de botões, flores e frutos, que é tanto mais intensa quanto maior é o índice de floração (AGUSTÍ e ALMELA, 1991).

A produção de laranjas Monte Parnaso, em número e massa total de frutos, pode ser aumentada com a aplicação de uma das seguintes práticas culturais: incisão anelar da casca dos ramos ou pulverização das plantas com 5 mg.L⁻¹ de AG3 (ácido giberélico) dez dias após a queda das pétalas; ou fazer a incisão anelar da casca dos ramos ou pulverizar as plantas com 15 mg L⁻¹ de 2,4-D (ácido 2,4 – diclorofenoxiacético) ou com 50mg L⁻¹ de 2,4-DP (ácido diclorofenoxipropiônico), em novembro, após a queda natural dos frutos; ou pulverizar as plantas com 10 mg L⁻¹ de AG3 + 15 mg L⁻¹ de 2,4-D, em maio, no início da mudança de cor da casca (KOLLER et al., 2000).

Com referência ao porta-enxerto a ser utilizado em laranjeiras Monte Parnaso, REIS et al. (2008) recomendam que as variedades limoeiro-cravo e volkameriana, apesar de proporcionarem altos índices de produtividade às plantas, somente devem ser indicadas em

regiões sem histórico ou risco de cancro cítrico, devido à sua predisposição em relação a essa doença.

A análise química dos tecidos da laranjeira revela a presença de grande número de elementos, que, em geral, são absorvidos do solo, através das raízes, porém a planta não necessita de todos eles para crescer ou produzir frutos. O excesso ou deficiência de macro e micronutrientes pode acarretar desenvolvimento anormal ou mesmo a morte da planta, contudo, a diagnose correta da disposição dos nutrientes no solo e consequente absorção da planta em doses suficientes ocasionam elevada produtividade. Os macronutrientes essenciais para a planta são nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) e os micronutrientes são boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mo) e zinco (Zn) (KOOLER, et al., 2006).

Para Simão (1998), os elementos minerais presentes no solo exercem influência tanto no florescimento como na fixação dos frutos e as espécies apresentam necessidades específicas desses nutrientes. Muitas vezes, torna-se difícil separar a influência exercida por cada elemento, por exemplo, o excesso de cálcio poderá afetar a absorção de boro ou de fósforo ou ainda apresentar clorose devido à ausência de ferro, zinco e manganês.

As plantas cítricas apresentam ampla adaptação a diferentes regimes térmicos, desde temperaturas mais elevadas e constantes até condições de ampla variação sazonal de temperatura. Acima de 12°C, o crescimento da parte aérea da planta, expresso em termos de massa verde, aumenta gradativamente e alcança o máximo por volta de 23 e 31°C. Acima dos 32°C, o crescimento passa a decrescer, até que a partir de 37°C, o crescimento cessa por danos fisiológicos (SENTELHAS, 2005).

Segundo Tubélis, (1995), o clima interfere em várias etapas da cultura, influencia fortemente os eventos fenológicos, a curva de maturação e a taxa de crescimento dos frutos, que afetam sobremaneira a produção e as características físicas e químicas do fruto.

II.3.3 A citricultura no Brasil

A expansão da citricultura no Brasil ocorreu na década de 70, quando a indústria de suco de laranja proporcionou a expansão dos pomares brasileiros, principalmente no estado de São Paulo. A citricultura paulista apresentou crescimento acelerado com a entrada de novos produtores devido às severas geadas nos pomares da Flórida (EUA), e em 1988, a produção paulista superou 200 milhões de caixas. Nas décadas de 70 a 90, surgiram doenças como cancro cítrico (*Xanthomonas axonopodis* pv. *citri*), clorose variegada dos citros (CVC) (tendo como agente causador da doença a bactéria *Xylella fastidiosa*), morte súbita dos citros (MSC) e alternária (*Alternaria alternata* f. sp. *citri*), que obrigou produtores a eliminar plantas doentes e a realizar novos plantios com porta-enxertos não susceptíveis a

doenças, porém, de difícil adaptação às condições edafoclimáticas do estado de São Paulo (NEVES et al., 2007).

Ainda segundo Neves et al. (2007), no Brasil em 2004, surgiu o citrus greening ou huanglongbing (HLB), doença causada pela bactéria *Candidatus Liberibacter spp.*, transmitida pelo inseto psílídeo *Diaphorina citri*, o qual, ao se alimentar de uma planta doente, transmite a doença às demais plantas. Devido ao grande número de doenças que atacaram os citros, muitos produtores abandonaram o setor e migraram para o cultivo de cana-de-açúcar ou arrendaram suas terras para o setor sucroalcooleiro. No estado de São Paulo, no período de 2005 a 2006, a doença provocou queda de 24% na safra da laranja. Na Flórida (EUA), as perdas foram de aproximadamente 50% na produção de laranjas no período de 2002 a 2006.

O Brasil detém 53% da produção mundial de suco de laranja e exporta 98% de sua produção. Em 2009, as exportações do complexo citrícola (suco concentrado congelado de laranja, suco de laranja não concentrado, óleo essencial da laranja, d-limoneno, terpenos cítricos e o farelo da polpa) totalizaram 1,84 bilhões de dólares americanos em receita (Figura 53). Desse total, o suco concentrado congelado de laranja (SCCL) e o suco de laranja não concentrado (SLNC) foram responsáveis por US\$ 1,62 bilhões (88%). Entre os anos de 1962 e 2009, a citricultura acumulou quase US\$ 60 bilhões em receitas de exportação, perfazendo uma média de US\$ 1.3 bilhões por ano em divisas (IBGE, 2011).

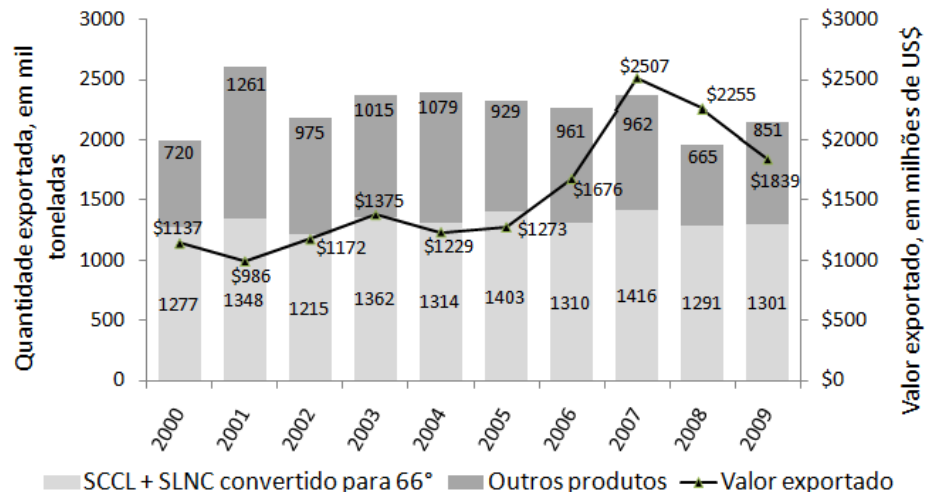


Figura 53 Exportações brasileiras referentes ao complexo de frutas cítricas, anos 2000-2009.

Fonte: Adaptado de Marketstrat - Centro de Pesquisa e Projetos em Marketing e Estratégia - com dados da Cacex, Banco do Brasil e SECEX/MIDC (NEVES, 2011).

A produção de suco de laranja em todo o mundo diminuiu em 13% a partir do ano agrícola 1995/96 a 2009/2010, o equivalente a 308 mil toneladas. O Estado da Flórida apresentou uma redução de 295 mil toneladas e o cinturão citrícola brasileiro (composto

pelo Estado de São Paulo e região do Triângulo Mineiro) de 31 mil toneladas. Ainda assim, as duas regiões representam mais de 81% da produção mundial (IBGE, 2011).

A safra nacional de laranja colhida em 2012 foi de 18,97 milhões de toneladas (465,1 milhões de caixas de 40,8 kg), 4,3% inferior ao número da safra anterior. A área colhida aumentou 3,9%. O rendimento médio nacional decresceu 7,9%, passando a 575,8 caixas ha⁻¹. O estado de São Paulo, com 76,3% de participação na produção nacional, produziu 14,48 milhões de toneladas (355,0 milhões de caixas), 5,5% a menos que em 2011 (IBGE, 2012).

O ano de 2012 caracterizou-se pelas imensas perdas na citricultura paulista. O excesso de estoques nas indústrias impediu a comercialização das frutas que, em alguns casos, apodreceram nos pomares. A crise no Mercado Europeu e as sanções comerciais impostas pelos EUA, grandes compradores do suco brasileiro, são apontadas como responsáveis pelos prejuízos à citricultura nacional. Outros estados que têm também grande relevância na citricultura brasileira são Bahia, Sergipe, Rio Grande do Sul e Paraná. No estado do Paraná já existem três unidades de extração de suco, com vistas à exportação de suco concentrado e congelado para países da Europa e Oriente Médio (IBGE, 2012).

A citricultura paranaense, implantada com alta tecnologia, apresentava, até 2011, o maior rendimento do País. Em 2012, o rendimento no estado decresceu 11,0% em relação a 2011, em virtude tanto da estiagem na região produtora como de problemas de comercialização, semelhantes aos verificados em São Paulo. Apesar do sucesso que o suco brasileiro faz no mercado externo, os produtores não recebem a contrapartida de preços compensadores. No segundo semestre de 2012, os preços tiveram quedas significativas que chegaram a R\$ 6,00 por caixa para produtores sem contratos com as indústrias. Tal preço foi comparado somente ao ano de 2009, cujos preços se apresentaram. Em agosto de 2013, o valor médio pago ao produtor foi de R\$ 7,00 por caixa de 40,8 kg, posta na indústria paulista (IBGE, 2013).

Quando a comercialização é feita diretamente aos consumidores o preço recebido pelos produtores é mais elevado, porém, esse tipo de comercialização implica diversos gastos e riscos. No mercado de frutas *in natura*, o produtor costuma obter preço melhor do que o pago pelas indústrias, pelos atacadistas ou pelos *Packing Houses*, unidades de beneficiamento que recebem as frutas colhidas e efetuam a limpeza, a seleção e a embalagem para venda do produto *in natura* no mercado atacadista e varejista, ou que atuam como fornecedoras de matéria-prima para as indústrias de suco (DESER, 2007).

II.3.4 Características físico-químicas de citros

A laranja é a fruta de maior produção e consumo no Brasil e importante fonte de vitamina C. Quando fornecida ao organismo humano, auxilia na resistência a infecções, na cicatrização de feridas e queimaduras. Além disso, o cálcio fornecido pela laranja fortalece a estrutura óssea; o fósforo auxilia na absorção da glicose; as fibras no funcionamento do intestino, a redução do colesterol e outros sais minerais bem como a neutralização do ácido úrico (CEAGESP, 2011).

Quando da escolha de uma região para produção de citros com a finalidade de consumo ao natural ou para processamento, é importante levar em consideração as condições climáticas, que podem influenciar na qualidade física e química dos mesmos. Frutos produzidos em regiões frias, que amadurecem nos meses de temperaturas mais baixas, apresentam casca e suco mais colorido, casca mais delgada, macia e lisa e consequentemente, maior sensibilidade a danos mecânicos. O teor de sólidos solúveis totais (SST) é mais elevado e o suco é mais ácido. Isso tudo pode acontecer, principalmente, em regiões que possuem quedas de temperatura durante a noite. O teor de sólidos solúveis totais é representado pela sacarose, glicose e frutose na proporção 2:1:1 e a escala que mede o teor de SST é o Brix ou °Brix (KOOLER, 2006).

A qualidade dos frutos pode ser definida como a combinação de parâmetros do fruto ou características que influenciam a aceitação do consumidor. Isto significa que, quanto melhor a qualidade, maior a taxa de aceitação e vice-versa. Embora a qualidade esteja relacionada a todos os alimentos, é particularmente relevante para frutas cítricas frescas e outros produtos perecíveis (LADANIYA, 2007).

A acidez total titulável (ATT) representa o teor de ácidos presentes e é medida, em um extrato da fruta, por titulação com hidróxido de sódio. Normalmente, a ATT diminui com a maturação da fruta. O pH apresenta comportamento inverso ao da ATT, ou seja, aumenta com a maturação da fruta (FACHINELLO et al., 2008).

Segundo Chitarra (1997), os SST e a ATT são importantes características de qualidade do sabor. Enquanto o teor de SST aumenta durante o amadurecimento, a ATT diminui. Para Agusti et al. (2002), a maturação dos frutos cítricos é caracterizada pela fase de reduzida taxa de crescimento e este estágio caracteriza-se também pelo aumento dos SSTs, sobretudo açúcares, compostos nitrogenados e aminoácidos.

A maturação dos frutos também é caracterizada pelas mudanças de cor, sabor, aroma e textura que proporcionam as condições organolépticas ótimas e asseguram sua qualidade comestível. É importante saber o momento certo da colheita que proporcione as melhores condições ao fruto até seu processamento ou chegada ao consumidor final (PEREIRA et al., 2006).

Para a indústria de SCCL, o índice tecnológico é considerado fator importante para as características físicas e químicas do fruto. Já a razão entre SST e ATT, conhecida como índice de maturidade (SST/ATT) ou, simplesmente, “*ratio*”, é utilizada para a determinação da maturidade e a época da colheita dos frutos de laranja. O índice tecnológico, além de indicador da maturidade, pode ser utilizado como indicador da qualidade do fruto (SINCLAIR, 1984).

Variações nas temperaturas do ar e chuvas durante a indução floral e o período de diferenciação, antes da florada, interferem na variabilidade do teor de sólidos solúveis totais entre os anos agrícolas (ALBRIGO, 1990) e no rendimento de citros durante o florescimento e o crescimento inicial dos frutos (CAMARGO et al. 1999).

Nas laranjas, para o processamento industrial, encontram-se teores de SST, medidos em grau Brix, na faixa de 10 a 13°, diretamente relacionados com os açúcares presentes, os quais conferem sabor relativamente adocicado ao suco. *Ratio* abaixo de 13 representam sucos menos doces e mais ácidos e relações acima de 15 denotam sucos bastante doces (KOLLER, 2006).

Para Azevêdo (2003), a colheita dos frutos deve estar no estágio de maturação ideal para consumo, sendo considerado maduro o fruto que apresentar características definidas para cada espécie. Em geral, o ponto de colheita para laranjas e tangerinas se define conforme a Tabela 12. O intervalo de segurança de aplicações de agrotóxicos deve ser respeitado para a colheita dos frutos. O procedimento para a colheita do fruto deve ser por torção do pedúnculo seguida de sua remoção ou com tesouras ou alicates de colheita (no caso das tangerinas).

Tabela 12 Características do fruto que definem o ponto de colheita

Laranjas e tangerinas	
mínimo de suco	35-45%
SST	9-10°Brix
<i>ratio</i> (SST/ATT)	8,5-10

Fonte: Adaptado de Azevêdo (2003).

No Brasil, verifica-se a preferência por sucos com *ratio* acima de 14. Todavia, o processamento pode começar quando o *ratio* alcança 12 ou 13, embora o preferido pelas indústrias esteja entre 15 e 18 (MARCHI, 1993). Quando frutas e sucos são estocados por períodos longos e sem condições adequadas de incidência de luz e temperatura, ocorrem perdas significativas da qualidade e de nutrientes como a vitamina C ou teor de ácido ascórbico (AA), (ALVES et al., 2008).

Através da Instrução Normativa nº1 de 7 de janeiro de 2000, o Ministério da Agricultura determina padrões para suco de laranja industrializado, onde o mesmo deve apresentar teores mínimos de 25 mg 100 mL⁻¹ para AA, 10,5 °Brix para o teor de SST e *ratio* com valor mínimo de 7,0 (BRASIL, 2000).

A vitamina C é considerada o nutriente mais importante encontrado em frutas cítricas; componente solúvel em água e excelente agente redutor. O termo vitamina C não é utilizado apenas para o AA, mas inclui todos os compostos que exibem a atividade biológica de ascorbato (SDIRI et al., 2012).

Para Topuz et al. (2005), as diferenças dos atributos físicos e químicos entre frutos podem ser atribuídas às características individuais das variedades bem como às condições ambientais e de crescimento. Entre os parâmetros de qualidade da fruta influenciados pela incidência de luz, destacam-se tamanho, firmeza, SST, ATT, cor da epiderme e teor de AA (DETONI et al. 2009).

II.3.5 Fruticultura de precisão

A agricultura de precisão (AP) permite identificar a variabilidade existente na área e a partir disto investigar fatores limitantes (físicos, químicos e biológicos) bem como propor alternativas de manejo diferenciadas de acordo com a necessidade de cada área. Com base nessa variabilidade, podem-se prescrever interferências de manejo visando corrigir aqueles atributos que estão comprometendo o rendimento. Isso permite a elevação do potencial produtivo (DELLAMEA et al., 2007), o aprimoramento do uso dos recursos e a redução do impacto da agricultura no meio ambiente (BERNARDI et al., 2008).

Informações sobre variabilidade espacial são importantes para que o agricultor conheça sua área de plantio bem como avalie de acordo com o mapa de rentabilidade se, eventualmente, outra cultura agrícola não teria rentabilidade maior por área. A partir da geração de mapas temáticos e utilizando-se de técnicas geoestatísticas, é possível avaliar produtividade, rentabilidade e perdas pela colheita manual e mecânica (JOHANN et al., 2010).

Na fruticultura, vários trabalhos vêm sendo realizados de acordo com as técnicas da AP, tais como a estimativa do número total de frutos em pomares em função da coleta de amostras (TRIBONI e BARBOSA, 2004), a determinação do tamanho de amostra para estimar a população em citros (LOPES et al., 2007), a análise da variabilidade espacial de macro e micronutrientes do solo, por análise foliar em pomar de citros manejado com irrigação localizada (ARMINDO et al. 2008), variabilidade espacial dos teores de sólidos solúveis totais em frutos de laranjeira (GASPARIN et al., 2011), comportamento espacial de macro nutrientes (N, K e Ca) nas folhas e concentração de SST no suco de laranjas (SUSZEK, et al. 2011), variabilidade espacial dos atributos do solo e planta com a produtividade de pereiras (KONOPATZKI et al., 2012), análise do relevo e a variabilidade do solo e atributos de laranja (SIQUEIRA et al. 2010; NICOLAU, et al. 2013), características físico-químicas de frutos de laranjas (LEMOS, et al. 2012) entre outros.

II.3.6 Variabilidade espacial tridimensional das características de frutos

As características físicas e químicas dos frutos variam durante o período de maturação, e dependem, dentre outros fatores, das condições meteorológicas durante a formação e maturação dos frutos. As características climáticas e exposição da planta e frutos à insolação podem influenciar no crescimento e na qualidade do fruto. Assim, o efeito da posição do fruto na planta é uma variável importante relacionada ao clima e pode resultar em diferenças qualitativas nos mesmos, em função das posições nos terços da planta (ALBRIGO, 1992).

Segundo Detoni et al. (2009), o tamanho das árvores, espaçamento, orientação da fileira, forma da copa e tipo de sistema de plantio adotado influenciam na distribuição da luz no interior das plantas. De acordo com Tonietto e Tonietto (2005), os citros podem adaptar-se a diferentes condições climáticas. Por conseguinte, são gerados comportamentos diferenciados das plantas e variações espacial e temporal das características físicas e químicas dos frutos. De acordo com a latitude da região, as plantas estarão expostas a diferentes regimes de energia, temperatura e distribuição de luminosidade.

O aumento da concentração de açúcares ocorre durante toda a fase de crescimento e maturação dos frutos. Está diretamente relacionado à intensidade do processo fotossintético e, por sua vez, à temperatura e à intensidade de luz (MARCHI, 1993). Sites e Reitz (1950) relataram que frutos de laranja da variedade Valência com crescimento em pleno sol apresentaram maior teor de vitamina C do que os frutos que estavam sombreados.

Em trabalho com laranjas da variedade Tarocco, Agabbio et al. (1999) concluíram que frutas colhidas na face externa sul da árvore tiveram maior concentração de SST. Já Sites e Reitz (1949) citam que laranjas da variedade Valência, quando expostas ao sol, apresentaram casca mais fina e frutos mais leves quando comparados aos frutos sombreados, localizados no interior da copa das laranjeiras.

Segundo Cruz et al. (2010), a resposta distinta quanto ao desenvolvimento das frutas ocorre em função dos índices de radiação solar e luminosidade que podem assumir comportamento diferenciado, de acordo com os diferentes pontos cardeais. Entretanto, é difícil avaliar a quantidade de energia radiante incidente sobre as plantas, em função da complexidade na interação dos fatores ambientais e genéticos, inerentes à planta.

A qualidade dos frutos pode ser influenciada pela incidência de luminosidade, porém, existem poucos trabalhos que evidenciam a qualidade relacionada à localização geográfica das frutas nas plantas (ARAÚJO et al., 1999).

II.4 MATERIAL E MÉTODOS

II.4.1 Caracterização da área de estudo e cultura

Este capítulo trata da análise química dos frutos e consequentemente; a área de estudo, a cultura, as condições climáticas e o tipo de solo são iguais e estão descritos no capítulo I deste trabalho.

II.4.2 Amostragem de dados

As variáveis que compõem todo o processo de análise estão apresentadas no diagrama representado na Figura 54.

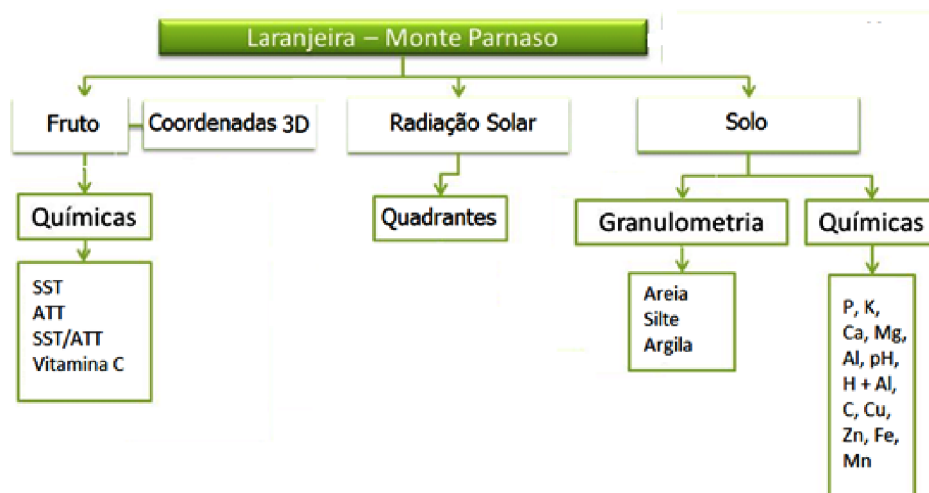


Figura 54 Diagrama das variáveis determinadas para análise de dados.

II.4.3 Colheita dos frutos

A época de colheita dos frutos seguiu recomendação do próprio produtor haja vista o pomar ser de laranjas caracterizadas como tipo de mesa, o qual indicava o ponto ideal de maturação da maioria dos frutos. A colheita ocorreu simultaneamente para todos dos frutos em cada ano (final do mês de maio) visando ao reconhecimento da heterogeneidade de suas propriedades químicas em função da posição de cada fruto na árvore. Após a colheita, os frutos, identificados individualmente, foram acondicionados em refrigerador até a realização das análises laboratoriais, que ocorreram no máximo em até cinco dias.

II.4.4 Análise do solo

As coletas de amostras de solo foram realizadas nos anos de 2011, 2012 e 2013 na projeção da copa das laranjeiras, para análise química (P, K, Ca, Mg, Al, pH, H+Al, C, Cu, Zn, Fe e Mn) e no ano de 2011 bem como para a análise granulométrica (areia, silte e argila) visando à caracterização do solo. As amostras foram coletadas com a utilização de um trado manual tipo holandês. Foram retiradas quatro sub amostras por ponto amostral, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm. As análises foram realizadas na Cooperativa Central de Pesquisa Agrícola – COODETEC, Cascavel – PR. A análise granulométrica indicou que o solo é composto por 76% de argila, 15% de silte e 9% de areia, classe argila, solo tipo 3.

II.4.5 Análise laboratorial

As análises dos frutos foram realizadas no Laboratório de Controle de Qualidade de Produtos Agrícolas da UNIOESTE campus de Cascavel/PR. O número de frutos amostrados variou de ano para ano e de árvore para árvore conforme a disponibilidade de frutos e perda de amostras entre a identificação e a colheita. Foram analisadas 203, 249 e 263 laranjas nos anos de 2011, 2012 e 2013, respectivamente. Nas análises químicas foram determinados: SST (°Brix), ATT (%), *ratio* (SST/ATT) e AA (mg 100 mL⁻¹).

II.4.5.1 Sólidos solúveis totais (SST)

Esse teste foi realizado com leituras diretas em refratômetro portátil, com o resultado expresso em graus Brix de acordo com o método N°315/IV, descrito por IAL (2008).

II.4.5.2 Acidez total titulável (ATT)

A determinação da acidez total titulável foi medida em porcentagem de ácido cítrico e determinada por titulometria com solução de hidróxido de sódio 0,1N (IAL, 2008) e indicador fenolftaleína, método N° 310/IV do IAL (2008), específico para diversos tipos de produtos de frutas.

II.4.5.3 Relação SST / ATT (*ratio*)

O *ratio* ou relação é calculado pela divisão do valor de SST pelo valor da ATT. Essa relação é utilizada como indicação do grau de maturação da matéria prima, seguindo o método N°316/IV do IAL (2008).

II.4.5.4 Ácido ascórbico(AA)

A determinação de AA foi realizada de acordo com a metodologia Tillmans, método N°365/IV do IAL (2008), o qual é aplicado na análise de amostras com baixo teor de vitamina C, como os sucos de frutas. Baseia-se na redução do corante sal sódico de 2,6-diclorofenol indofenol por uma solução ácida de vitamina C.

II.4.6 Análise estatística e geoestatística

A posição de cada fruto na árvore assim como as análises estatística e geoestatística e a metodologia utilizada para geração dos mapas bidimensionais e tridimensionais dos atributos químicos dos frutos de laranja estão descritas no capítulo I, pois seguem o mesmo conceito das análises dos atributos físicos dos frutos de laranja.

II.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

II.5.1 Condições climáticas e características químicas do solo

A descrição das condições climáticas (precipitação acumulada, umidade relativa média, radiação solar média, temperaturas mínima e máxima, velocidade e predominância dos ventos) bem como a análise das propriedades químicas do solo do pomar estão descritas no capítulo I.

II.5.2 Análise estatística das propriedades químicas dos frutos

As análises estatísticas descritivas para os atributos químicos dos frutos para o triênio 2011, 2012 e 2013 são apresentadas na Tabela 13. Com relação ao teor de SST dos frutos, os mesmos apresentaram CV baixo (Pimentel Gomes e Garcia, 2002) nas árvores analisadas. Isso indica a homogeneidade dos conjuntos de dados, com exceção da árvore A, que apresentou CV de 10,40%, considerado médio. O menor, médio e maior valor de SST encontrado foi de 7,0; 9,3 e 12,8 °Brix, respectivamente no conjunto de 715 frutos analisados. O teor mínimo de SST para suco de laranja industrializado deve ser de 10,5 °Brix (BRASIL, 2000).

Como o objetivo deste trabalho não foi o de colher somente os frutos maduros e sim verificar a possível heterogeneidade dos atributos químicos dos frutos em relação à sua posição tridimensional na árvore, os resultados encontrados são satisfatórios, pois segundo Azevêdo (2003), o ponto de colheita ideal se define quando o teor de SST se encontra entre 9,0 e 10,0 °Brix. Suszek (2011), em trabalho realizado no mesmo pomar de laranjas ao deste trabalho, encontrou valores com variações de 6,2 a 8,6 °Brix (2009) e de 6,2 a 9,1 °Brix. Já Reis et al. (2008) encontraram valores que variaram de 8,5 a 10,8 °Brix, também em experimento com laranja da variedade Monte Parnaso, em pomar localizado no município de Butiá - RS.

Os conjuntos (árvores) apresentaram distribuição normal e simétrica dos com exceção da árvore H (assimetria positiva), pois apresentam a maior média de teor de SST (12,8 °Brix) e curtose leptocúrtica.

O menor valor encontrado com relação à ATT foi de 0,58%, maior valor de 1,36% e valor médio geral de 0,98%. Os dados tiveram distribuição normal, com exceção da árvore H e todos os conjuntos de dados apresentaram distribuição simétrica. O CV foi considerado médio em todas as árvores. O menor e o maior valor médio de ATT foram de 0,82 e 1,11%, nas árvores F e I, respectivamente, os quais são condizentes com valores encontrados em trabalho realizado por Couto e Canniatti-Brazaca (2010) quanto à avaliação das

propriedades químicas de laranjas, que encontraram valores médios de ATT de 1,14% (Pera); 1,24% (Natal); 0,80% (Valência) e 1,48% (Bahia).

Tabela 13 Estatísticas descritivas dos atributos químicos em pomar de laranjas, no triênio 2011, 2012 e 2013, Nova Laranjeiras, PR.

Atributos físicos dos frutos	Árvore	Estatísticas no triênio (2011-2013)									
		N	Média	DP	CV(%)	Mínimo	Mediana	Máximo	Assimetria	Curtose	Normal*
SST (°Brix)	A	75	9,2	1,0	10,4	7,0	9,0	11,2	0,12(a)	-0,21(A)	Sim
	B	80	9,2	0,8	9,1	7,5	9,0	11,2	0,27(a)	0,07(A)	Sim
	C	80	9,2	0,7	8,0	7,8	9,0	11,4	0,41(a)	0,13(A)	Sim
	D	80	9,2	0,7	7,3	7,2	9,0	10,7	-0,17(a)	0,01(A)	Sim
	E	76	9,3	0,8	8,4	7,5	9,2	11,7	-0,02(a)	0,54(A)	Sim
	F	79	8,9	0,7	8,2	7,8	9,0	10,2	0,19(a)	-1,06(B)	Sim
	G	82	9,9	0,9	9,2	8,0	9,8	12,2	0,51(a)	-0,08(A)	Sim
	H	83	9,1	0,9	9,4	7,8	9,0	12,8	1,32(b)	3,21(C)	Sim
	I	80	9,8	0,8	8,0	8,0	9,8	11,6	0,14(a)	-0,37(A)	Sim
	Geral	715	9,3	0,9	13,0	7,0	9,2	12,8	0,40(a)	0,36(A)	Não
ATT (%)	A	75	0,88	0,2	18,4	0,61	0,87	1,29	0,45(a)	-0,41(A)	Sim
	B	80	0,96	0,2	17,1	0,62	0,97	1,22	-0,19(a)	-1,14(B)	Sim
	C	80	1,01	0,2	17,1	0,66	1,03	1,34	0,00(a)	-0,64(A)	Sim
	D	80	0,98	0,1	14,2	0,67	0,96	1,34	0,30(a)	-0,14(A)	Sim
	E	76	1,03	0,1	14,5	0,76	1,02	1,36	0,27(a)	-0,67(A)	Sim
	F	79	0,82	0,1	14,2	0,58	0,81	1,12	0,36(a)	0,31(A)	Sim
	G	82	0,95	0,2	16,7	0,69	0,92	1,29	0,36(a)	-0,96(B)	Sim
	H	83	1,07	0,1	12,9	0,76	1,10	1,30	-0,29(a)	-0,96(B)	Não
	I	80	1,11	0,1	13,5	0,78	1,10	1,36	-0,12(a)	-0,90(B)	Sim
	Geral	715	0,98	0,2	17,7	0,58	0,97	1,36	0,09(a)	0,76(A)	Não
ratio	A	75	10,6	1,9	17,5	7,0	10,4	15,5	0,43(a)	-0,14(A)	Sim
	B	80	9,8	1,8	18,0	7,2	9,4	13,9	0,62(b)	-0,46(A)	Não
	C	80	9,3	1,6	17,6	7,1	9,0	13,2	0,72(b)	-0,48(A)	Não
	D	80	9,6	1,5	16,0	6,7	9,7	13,4	0,19(a)	-0,35(A)	Sim
	E	76	9,2	1,5	15,9	6,9	9,1	13,0	0,31(a)	-0,55(A)	Sim
	F	79	11,1	1,8	15,8	7,6	11,1	14,7	0,15(a)	-0,83(B)	Sim
	G	82	10,7	2,0	18,3	6,9	10,6	14,1	0,04(a)	-0,93(B)	Sim
	H	83	8,6	1,2	14,1	6,8	8,3	12,4	0,78(b)	0,24(A)	Não
	I	80	9,0	1,5	16,9	6,8	8,8	14,0	0,73(b)	0,41(A)	Sim
	Geral	715	9,8	1,8	18,7	6,7	9,5	15,5	0,55(b)	0,34(A)	Não
AA (mg 100mL ⁻¹)	A	75	58,7	8,0	13,7	43,2	58,7	76,7	0,06(a)	-0,62(A)	Sim
	B	80	50,9	5,7	11,2	40,0	50,6	65,7	0,60(b)	0,56(A)	Não
	C	80	56,6	6,0	10,5	41,4	56,4	67,4	-0,09(a)	-0,65(A)	Sim
	D	80	55,8	5,4	9,7	44,5	55,8	68,4	0,14(a)	-0,68(A)	Sim
	E	76	55,2	6,8	12,3	42,9	55,8	67,3	-0,01(a)	-1,05(B)	Sim
	F	79	59,8	7,0	11,7	40,6	61,6	70,8	-0,70(c)	-0,08(A)	Não
	G	82	58,2	6,3	10,8	43,4	58,5	70,0	0,04(a)	-0,72(A)	Sim
	H	83	47,8	4,7	9,8	40,0	47,5	62,1	0,68(b)	0,57(A)	Sim
	I	80	56,5	6,1	10,8	41,3	57,3	69,8	-0,37(a)	0,06(A)	Sim
	Geral	715	55,5	7,2	13,0	40,0	55,4	76,7	0,09(a)	0,66(A)	Não

SST:sólidos solúveis totais; ATT: acidez total titulável; *ratio*: SST/ATT; AA: ácido ascórbico. *Teste de normalidade - Anderson-Darling e Kolmogorov-Smirnov; DP:desvio padrão; CV:coeficiente de variação; Assimetria - distribuição simétrica (a), assimetria positiva (b), assimetria negativa (c); Curtose - mesocúrtica (A), platicúrtica (B), leptocúrtica (C).

Segundo Azevêdo (2003), o *ratio* ideal capaz de definir o ponto de colheita de laranjas e tangerinas está entre 8,5 e 10,0. A média geral do *ratio* para os frutos analisados foi de 9,8 com mínimo de 6,7 (árvore D) e máximo de 15,5 (árvore A).

Os conjuntos de dados apresentaram CV classificado como médio em todas as árvores analisadas e distribuição normal dos dados nas árvores A, D, E, F, G e I. Couto e Canniatti-Brazaca (2010) encontraram grande variação nos valores de *ratio* entre as

cultivares de laranja Pera (9,4), Lima (38,8), Natal (8,8), Valência (13,3) e Bahia (6,7). Todavia, para o teor de AA, o conjunto de dados teve média de 55,5mg 100 mL⁻¹, com valor mínimo de 40,0 e máximo de 76,7 mg 100 mL⁻¹. Pode-se afirmar que esses valores encontram-se dentro de faixas normais, pois em estudos com citros, valores de 25,5 a 77,0 mg 100mL⁻¹ foram encontrados por outros pesquisadores (ANDRADE et al. 2002; CHITARRA e CHITARRA, 2005; SUSZEK, 2011). O teor mínimo de AA para suco industrializado de laranja deve ser de 25 mg 100 mL⁻¹ (BRASIL, 2000). O CV foi considerado baixo para as árvores D e H e médio para as demais. Já Couto e Canniatti-Brazaca (2010), com relação ao teor de AA, encontraram valores médios superiores aos encontrados neste trabalho: 62,5 (Pera); 64,6 (Lima); 84,0 (Natal); 78,5 (Valência) e 80,0 mg 100 mL⁻¹ (Bahia).

Os valores médios dos atributos químicos nos terços (basal, intermediário e apical) são apresentados na Tabela 14, nas nove árvores em estudo. Para o teor de SST, os valores variaram de 8,9 a 9,3 °Brix; 8,9 a 9,4 °Brix e 8,9 a 9,7 °Brix, nos terços basal, intermediário e apical, respectivamente. Lemos et al. (2012) avaliaram as características físico-químicas de laranja Pera e concluíram que não houve diferenças no teor de SST, independente da altura em que os frutos foram colhidos.

Tabela 14 Valores médios dos atributos químicos de frutos, com relação às suas posições nos terços em pomar de laranjas, no triênio 2011, 2012 e 2013, Nova Laranjeiras, PR.

Árvore	Terço	SST	ATT	ratio	AA
A	basal	9,1	0,91	10,3	59,3
	intermediário	9,1	0,83	11,2	56,8
	apical	9,4	0,94	10,3	60,9
B	basal	9,4	1,02	9,3	51,0
	intermediário	9,1	0,94	9,9	50,8
	apical	9,2	0,96	10,0	50,9
C	basal	9,1	1,04	9,0	57,1
	intermediário	9,3	0,98	9,8	57,1
	apical	9,1	1,04	8,9	55,3
D	basal	9,3	1,00	9,4	54,4
	intermediário	9,2	0,97	9,7	56,0
	apical	9,0	0,95	9,6	57,3
E	basal	9,4	1,06	9,0	54,4
	intermediário	9,3	1,02	9,2	55,5
	apical	9,5	0,98	9,8	56,2
F	basal	9,0	0,81	11,2	57,9
	intermediário	8,9	0,82	11,1	60,2
	apical	8,9	0,82	11,0	61,4
G	basal	9,7	0,96	10,4	57,2
	intermediário	10,0	0,94	10,9	57,8
	apical	9,7	0,94	10,6	61,2
H	basal	8,9	1,08	8,5	47,0
	intermediário	9,3	1,07	8,8	48,0
	apical	9,2	1,08	8,6	48,3
I	basal	9,9	1,10	9,2	54,6
	intermediário	10,0	1,11	9,1	57,8
	apical	9,7	1,13	8,7	57,1
Geral	basal	9,3	1,00	9,6	54,8
	intermediário	9,4	0,97	10,0	55,6
	apical	9,3	0,98	9,7	56,5

SST: sólidos solúveis totais; ATT: acidez total titulável; ratio: SST/ATT; AA: ácido ascórbico.

Testes de média visando avaliar as diferenças estatísticas dos atributos SST, ATT, *ratio* e AA quanto aos terços não foram efetuados pela existência de dependência espacial entre os dados, a ser comprovado mais adiante. Assim, com relação à ATT, os valores variaram de 0,81 a 1,10%; 0,83 a 1,11% e 0,82 a 1,13% nos terços basal, intermediário e apical, respectivamente. Esses resultados foram diferentes dos encontrados por Lemos et al. (2012), que foram de 1,40; 1,26; e 1,15% nos terços basal, intermediário e apical, respectivamente.

O *ratio* apresentou valores que variaram de 8,5 a 11,2; 8,8 a 11,2 e 8,6 a 11,0 nos terços basal, intermediário e apical, respectivamente. As árvores A, F e G apresentaram *ratio* acima de 10,0 em todos os terços analisados.

Para o teor de AA, os valores variaram de 47,0 a 59,3 mg 100 mL⁻¹; 48,0 a 60,2 mg 100 mL⁻¹ e de 48,28 a 61,38 mg 100 mL⁻¹ nos terços basal, intermediário e apical, respectivamente. Lemos et al. (2012) encontraram valores menores para o teor de AA na cultivar de laranja Pera (32,0; 29,1 e 31,7 mg 100 mL⁻¹) nos terços basal, intermediário e apical, respectivamente.

II.5.3 Análise de correlação

Na Tabela 15 estão apresentados os dados de correlação linear de Pearson para os atributos químicos dos frutos e dos atributos químicos do solo no triênio 2011, 2012 e 2013. Cada atributo representa a média das nove árvores nos três anos. Os parâmetros que se correlacionaram negativamente muito forte foram H+Al³ e Ca, Fe e Ca, pH e H+Al³, Mn e H+Al³, pH e Fe. A correlação negativa muito forte do pH e H+Al³, H+Al³ e Ca era de se esperar, pois o aumento do pH implica diminuição da acidez do solo.

Tabela 15 Correlação linear de Pearson para as coordenadas geográficas das árvores, dos atributos químicos dos frutos e dos atributos químicos do solo em pomar de laranjas no triênio 2011, 2012 e 2013, Nova Laranjeiras, PR.

	x	y	z	SST	ATT	<i>ratio</i>	AA	Cu	Zn	Fe	Mn	P	C	pH	H+Al ³	Ca	Mg	Al
SST	-0.56	0.06	-0.59															
ATT	-0.33	0.32	-0.27	0.48														
<i>ratio</i>	0.15	-0.30	0.04	-0.14	-0.93													
AA	0.16	-0.01	0.04	0.15	-0.56	0.70												
Cu	-0.84	-0.13	-0.48	0.46	0.22	-0.08	-0.12											
Zn	0.50	0.25	0.10	-0.32	-0.68	0.66	0.50	-0.62										
Fe	-0.56	0.13	-0.13	0.18	0.40	-0.40	-0.34	0.79	-0.58									
Mn	-0.12	-0.49	-0.29	0.09	-0.05	0.09	-0.01	-0.25	-0.05	-0.66								
P	0.50	0.08	0.64	-0.04	0.28	-0.35	0.17	-0.23	-0.31	0.02	-0.24							
C	0.79	0.08	0.66	-0.61	-0.20	-0.02	-0.36	-0.68	0.37	-0.33	-0.16	0.14						
pH	0.28	-0.41	0.09	-0.24	-0.26	0.20	0.26	-0.60	0.25	-0.81	0.83	0.03	0.03					
H+Al ³	-0.10	0.36	0.04	0.12	0.09	-0.06	-0.26	0.44	-0.07	0.66	-0.83	-0.08	0.20	-0.96				
Ca	0.38	-0.41	0.17	-0.30	-0.31	0.23	0.22	-0.69	0.33	-0.84	0.79	0.02	0.17	0.99	-0.91			
Mg	0.70	0.01	0.57	-0.57	-0.09	-0.14	0.08	-0.65	0.08	-0.54	0.28	0.57	0.36	0.60	-0.58	0.59		
Al	0.04	-0.04	0.24	0.09	-0.18	0.23	-0.13	0.30	0.04	0.43	-0.64	-0.09	0.33	-0.74	0.87	-0.64	-0.58	
K	0.27	0.96	-0.09	-0.05	0.16	-0.15	0.02	-0.18	0.33	0.08	-0.56	0.10	0.24	-0.46	0.47	-0.45	0.04	0.12

SST:sólidos solúveis totais; ATT:acidez total titulável; *ratio*:SST/ATT; AA: ácido ascórbico; x: coordenada este (E); y: coordenada norte (N); z: cota.

Dentre os atributos químicos, somente a ATT correlacionou-se negativamente muito forte com o *ratio* (relação inversa) e tais atributos não tiveram correlação forte ou muito forte com a posição tridimensional dos frutos. Entretanto, o teor de SST apresentou moderada correlação negativa (-0,59) com a coordenada cota (z), indicando haver moderada possibilidade de aumento do valor do teor de SST com a diminuição da cota do fruto na árvore.

Correlações negativas fortes ocorreram com Cu e Zn, ATT e Zn, Cu e C, Cu e pH, Cu e Mg, Cu e Ca, Fe e Mn, Mn e Al, Al e pH e Al e Ca. A concentração muito alta do cobre verificada na Tabela 04 (Capítulo I) interferiu negativamente nos teores de Zn, pH, Mg, C e Ca do solo e, provavelmente, os altos teores de Cu foram resultantes das aplicações de defensivos agrícolas utilizados no controle de doenças nos citros.

Pode-se concluir que os parâmetros que se correlacionaram como positivamente fortes foram *ratio* e AA, *ratio* e Zn, Cu e Fe, Mn e Ca, pH e Mg, H+Al³ e Fe.

Na Tabela 16, observam-se os dados de correlação linear de Pearson para o conjunto de dados das nove árvores, com a posição tridimensional de cada fruto e seus respectivos atributos químicos no triênio 2011, 2012 e 2013. Ao serem analisadas as nove árvores, verificam-se as baixas correlações entre os atributos químicos e suas respectivas posições tridimensionais (coeficientes de correlação cuja variação foi de zero a 0,31, em módulo). Tais resultados foram concordantes com Lemos et al. (2012) os quais afirmam que não houveram diferenças nos teores de SST, na cultura de laranja Pera, independente da altura em que os frutos foram colhidos.

Tabela 16 Correlação linear de Pearson das posições tridimensionais de frutos e respectivos atributos químicos, de nove laranjeiras no triênio 2011, 2012 e 2013, Nova Laranjeiras, PR.

	x	y	z	SST	ATT	ratio		x	y	z	SST	ATT	ratio		x	y	z	SST	ATT	ratio	
SST	-0.08	-0.26	0.11				A	-0.09	0.18	0.03				B	0.07	0.29	0.02				C
ATT	0.11	-0.10	-0.01	0.33				0.05	0.02	-0.11	0.27				-0.12	0.15	0.06	0.33			
ratio	-0.17	-0.06	0.07	0.26	-0.81			-0.11	0.10	0.14	0.24	-0.86			0.16	0.01	-0.04	0.14	-0.87		
AA	0.00	-0.28	-0.01	0.39	0.15	0.06		-0.07	-0.04	0.02	0.22	0.05	0.04		0.05	0.41	-0.06	0.56	0.10	0.18	
SST	-0.07	-0.08	-0.08				D	0.02	0.09	0.05				E	-0.06	-0.04	-0.17				F
ATT	0.04	-0.07	-0.12	-0.03				0.16	-0.05	-0.19	0.13				-0.18	0.00	0.04	0.04			
ratio	-0.04	0.03	0.07	0.46	-0.88			-0.11	0.10	0.21	0.41	-0.84			0.13	-0.05	-0.10	0.45	-0.86		
AA	-0.04	-0.20	0.19	0.16	0.05	0.04		0.09	-0.04	0.11	0.29	0.07	0.08		-0.21	-0.09	0.15	0.32	0.42	-0.21	
SST	-0.15	0.31	0.05				G	-0.11	0.21	0.08				H	0.07	0.10	-0.07				I
ATT	0.10	0.11	-0.13	0.01				0.07	-0.01	0.01	0.32				-0.15	-0.11	0.00	-0.05			
ratio	-0.16	0.04	0.13	0.46	-0.87			-0.14	0.13	0.02	0.36	-0.76			0.20	0.15	-0.03	0.53	-0.86		
AA	-0.18	0.00	0.25	0.26	-0.03	0.14		0.15	0.19	0.11	0.40	0.25	0.00		0.12	-0.06	0.20	0.00	0.22	-0.18	

SST:sólidos solúveis totais; ATT:acidez total titulável; *ratio*:SST/ATT; AA: ácido ascórbico; x: coordenada este (E); y: coordenada norte (N); z: cota.

De acordo com a análise da Tabela 17, verifica-se que não ocorreram correlações forte ou muito forte entre os atributos físicos e químicos dos frutos. O teor de SST teve correlação negativa fraca com D, MF e MS na maioria das árvores.

Tabela 17 Correlação linear de Pearson dos atributos físicos e químicos de frutos de nove laranjeiras no triênio 2011, 2012 e 2013, Nova Laranjeiras, PR.

	D	MF	MS	RS	SST	ATT	ratio	D	MF	MS	RS	SST	ATT	ratio
MF	0.97							0.94						
MS	0.84	0.87						0.87	0.89					
RS	0.05	0.06	0.53					0.09	0.02	0.47				
SST	-0.23	-0.21	0.01	0.41				-0.32	-0.25	-0.28	-0.16			
ATT	0.08	0.07	0.18	0.26	0.33			-0.04	0.02	-0.02	-0.09	0.33		
ratio	-0.24	-0.21	-0.19	-0.01	0.26	-0.81		-0.16	-0.19	-0.16	0.01	0.14	-0.87	
AA	-0.19	-0.14	-0.14	-0.02	0.39	0.15	0.06	-0.28	-0.28	-0.39	-0.31	0.56	0.10	0.18
MF	0.94							0.94						
MS	0.87	0.89						0.87	0.89					
RS	-0.08	-0.16	0.29					0.09	0.02	0.47				
SST	0.13	0.13	0.20	0.13				-0.32	-0.25	-0.28	-0.16			
ATT	0.01	0.13	0.10	-0.06	0.27			-0.04	0.02	-0.02	-0.09	0.33		
ratio	0.06	-0.06	0.00	0.11	0.24	-0.86		-0.16	-0.19	-0.16	0.01	0.14	-0.87	
AA	-0.11	-0.12	-0.11	0.03	0.22	0.05	0.04	-0.28	-0.28	-0.39	-0.31	0.56	0.10	0.18
MF	0.91							0.94						
MS	0.82	0.87						0.84	0.87					
RS	-0.07	-0.14	0.37					-0.06	-0.09	0.40				
SST	0.06	0.02	0.06	0.09				-0.25	-0.21	-0.10	0.20			
ATT	-0.04	0.05	0.05	-0.03	-0.03			0.07	0.11	0.11	0.04	0.13		
ratio	0.04	-0.05	-0.03	0.00	0.46	-0.88		-0.19	-0.20	-0.14	0.06	0.41	-0.84	
AA	0.01	-0.02	-0.09	-0.10	0.16	0.05	0.04	-0.32	-0.23	-0.35	-0.25	0.29	0.07	0.08
MF	0.94							0.97						
MS	0.82	0.84						0.90	0.93					
RS	-0.01	-0.06	0.48					0.05	0.03	0.38				
SST	-0.13	-0.15	0.06	0.34				-0.34	-0.36	-0.26	0.20			
ATT	-0.07	-0.04	-0.01	0.04	0.04			0.21	0.17	0.10	-0.12	0.01		
ratio	0.00	-0.04	0.04	0.13	0.45	-0.86		-0.34	-0.32	-0.21	0.18	0.46	-0.87	
AA	-0.06	-0.03	0.07	0.16	0.32	0.42	-0.21	-0.34	-0.34	-0.41	-0.31	0.26	-0.03	0.14
MF	0.95							0.94						
MS	0.84	0.87						0.81	0.89					
RS	-0.11	-0.12	0.37					-0.38	-0.30	0.15				
SST	-0.33	-0.33	-0.18	0.22				-0.35	-0.29	-0.22	0.18			
ATT	-0.22	-0.22	-0.19	0.02	0.32			0.00	0.02	0.04	0.03	-0.05		
ratio	0.00	0.00	0.07	0.13	0.36	-0.76		-0.15	-0.15	-0.11	0.08	0.53	-0.86	
AA	-0.23	-0.29	-0.18	0.17	0.40	0.25	0.00	0.03	0.02	-0.02	-0.10	0.00	0.22	-0.18

D: diâmetro equatorial do fruto; MF: massa do fruto; MS: massa do suco; RS: rendimento do suco; SST:sólidos solúveis totais; ATT:acidez total titulável; ratio:SST/ATT; AA: ácido ascórbico.

II.5.4 Análise geoestatística

A análise geoestatística está demonstrada na Tabela 18, no plano xy, para os atributos químicos de frutos de nove laranjeiras assim como o melhor modelo ajustado para cada atributo, parâmetros estimados e respectivas classificações de dependência espacial.

Os alcances determinam a distância dentro da qual as amostras apresentam autocorrelação espacial, ou seja, o alcance marca a distância a partir da qual um ponto da variável em estudo não tem mais influência sobre o ponto vizinho. Os alcances mínimos e máximos foram de 0,30 e 3,04 m; 0,29 e 3,27 m; 0,36 e 3,98 m; e 0,31 e 3,23m para os atributos SST, ATT, ratio e AA, respectivamente. Ressalte-se que os valores máximos de alcance são muito maiores do que o raio médio dos pés de laranja; portanto, nestes casos, a distância de dependência espacial abrange todas as laranjas.

A dependência espacial dos atributos químicos foi fraca e moderada com exceção dos atributos AA na árvore E e o atributo SST na árvore G que apresentaram dependência forte. Não foram encontrados valores de efeito pepita puro, ou seja, quando não há dependência espacial entre as amostras analisadas.

Tabela 18 Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais dos atributos químicos de frutos em nove laranjeiras, Nova Laranjeiras, PR.

Árvores	Variáveis	Modelos	C ₀	C ₁	C ₀ + C ₁	a (m)	IDE (%)	Dependência
A	SST	Exponencial	0,7969	0,1547	0,9516	3,04	83,74	Fraca
	ATT	Gaussiano	0,0266	0,0021	0,0287	2,45	92,68	Fraca
	ratio	Gaussiano	3,3946	0,0895	3,4841	3,98	97,43	Fraca
	AA	Esférico	23,357	52,44	75,797	0,50	30,81	Moderada
B	SST	Esférico	0,4847	0,2927	0,7774	0,36	62,35	Moderada
	ATT	Exponencial	0,0153	0,0124	0,0277	0,67	55,20	Moderada
	ratio	Exponencial	0,9651	2,2182	3,1834	0,72	30,32	Moderada
	AA	Gaussiano	17,102	18,812	35,914	0,76	47,62	Moderada
C	SST	Exponencial	0,2691	0,2082	0,4773	0,44	56,38	Moderada
	ATT	Exponencial	0,0114	0,0197	0,0311	0,61	36,72	Moderada
	ratio	Gaussiano	1,8868	0,9368	2,8236	0,52	66,82	Moderada
	AA	Esférico	25,164	14,134	39,299	3,23	64,03	Moderada
D	SST	Esférico	0,2738	0,1606	0,4344	0,42	63,03	Moderada
	ATT	Esférico	0,0178	0,0034	0,0213	0,60	83,96	Fraca
	ratio	Esférico	1,65	0,9849	2,6349	0,60	62,62	Moderada
	AA	Gaussiano	22,005	12,251	34,256	0,36	64,24	Moderada
E	SST	Esférico	0,2839	0,4744	0,7583	0,57	37,44	Moderada
	ATT	Esférico	0,0201	0,003	0,023	3,27	87,03	Fraca
	ratio	Gaussiano	0,3812	0,0515	0,4327	2,12	88,10	Fraca
	AA	Exponencial	10,421	40,967	51,389	0,39	20,28	Forte
F	SST	Gaussiano	0,5036	0,1169	0,6206	0,30	81,16	Fraca
	ATT	Esférico	0,0081	0,0066	0,0148	0,51	55,07	Moderada
	ratio	Gaussiano	2,9475	0,2786	3,2261	1,06	91,36	Fraca
	AA	Gaussiano	19,69	49,294	68,984	0,31	28,54	Moderada
G	SST	Esférico	0,1493	0,848	0,9973	0,32	14,97	Forte
	ATT	Esférico	0,0207	0,0054	0,0261	2,66	79,27	Fraca
	ratio	Exponencial	3,0927	0,8325	3,9252	0,75	78,79	Fraca
	AA	Exponencial	18,965	25,906	44,872	0,61	42,27	Moderada
H	SST	Gaussiano	0,2821	0,599	0,8812	0,39	32,02	Moderada
	ATT	Gaussiano	0,0178	0,0016	0,0195	0,35	91,68	Fraca
	ratio	Esférico	1,046	0,6257	1,6717	0,36	62,57	Moderada
	AA	Gaussiano	10,371	13,133	23,504	0,44	44,12	Moderada
I	SST	Esférico	0,5806	0,0654	0,646	0,62	89,87	Fraca
	ATT	Gaussiano	0,0105	0,0134	0,0239	0,29	44,13	Moderada
	ratio	Gaussiano	1,326	1,0409	2,3669	1,20	56,02	Moderada
	AA	Exponencial	35,246	5,7857	41,031	0,35	85,90	Fraca

SST:sólidos solúveis totais; ATT:acidez total titulável; ratio:SST/ATT; AA: ácido ascórbico; C₀: efeito pepita; C₁: contribuição (*partialsill*); C₀ + C₁: patamar; a: alcance; IDE: índice de dependência espacial.

II.5.5 Mapas temáticos bidimensionais

Os mapas da distribuição espacial dos atributos químicos dos frutos de laranjas no pomar estão ilustrados na Figura 55. O mapa temático do teor de SST caracteriza-se por possuir os maiores valores localizados na região com menor altitude (ver Figura 30b), representados pelas árvores G e I, e menores valores pelas árvores F e H.

O mapa temático da ATT evidencia uma distribuição espacial com maiores valores à NO e menores valores ao norte. Como o *ratio* é um fator de avaliação do ponto ideal de colheita, verifica-se que a área NO do pomar possui os menores valores, por consequência da maior ATT, indicando que não é interessante começar a colheita por esta área. No

pomar, o mapa temático do teor de AA apresenta distribuição aleatória e não evidencia tendência de concentração de determinados valores em certa área ou direção.

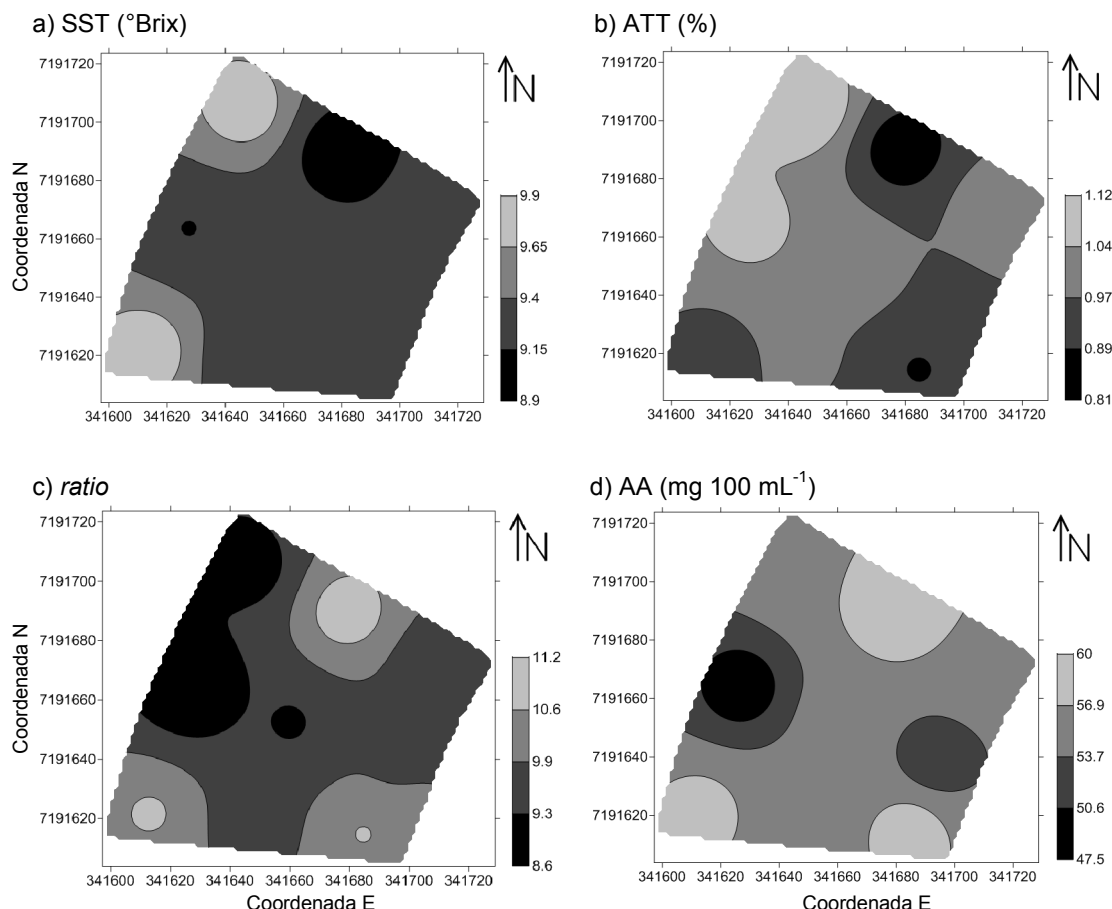


Figura 55 Mapas temáticos referentes aos atributos químicos de frutos (SST, ATT, *ratio*, AA), em pomar de laranjas, no triênio 2011, 2012 e 2013, Nova Laranjeiras, PR.

Os mapas bidimensionais no plano x e y de cada atributo químico e em cada árvore estão ilustrados nas Figuras 56 a 60. Os valores normalizados de SST estão ilustrados na Figura 56. E, para melhor visualização do tamanho correspondente de cada árvore nos planos x (E) e y (N), as coordenadas métricas UTM foram convertidas em coordenadas métricas cartesianas locais, cuja coordenada inicial é o valor zero em x e y.

Os valores dos atributos foram normalizados (SWINDELL, 1997), portanto, valores abaixo de 1 (um) estão abaixo da média e valores acima de 1 (um) estão acima da média. Os mapas temáticos de SST demonstram que, em geral, não apresentam tendências direcionais em sua distribuição espacial. Na árvore A, valores acima da média são destacados na região SE e valores abaixo da média estão na região norte.

Nas árvores C e H, os valores acima da média de SST destacaram-se na área periférica e os valores abaixo da média destacaram-se na área central e região SO. De

modo geral, com exceção das árvores A e F, valores acima da média são representativos nas regiões periféricas e valores abaixo da média na região central.

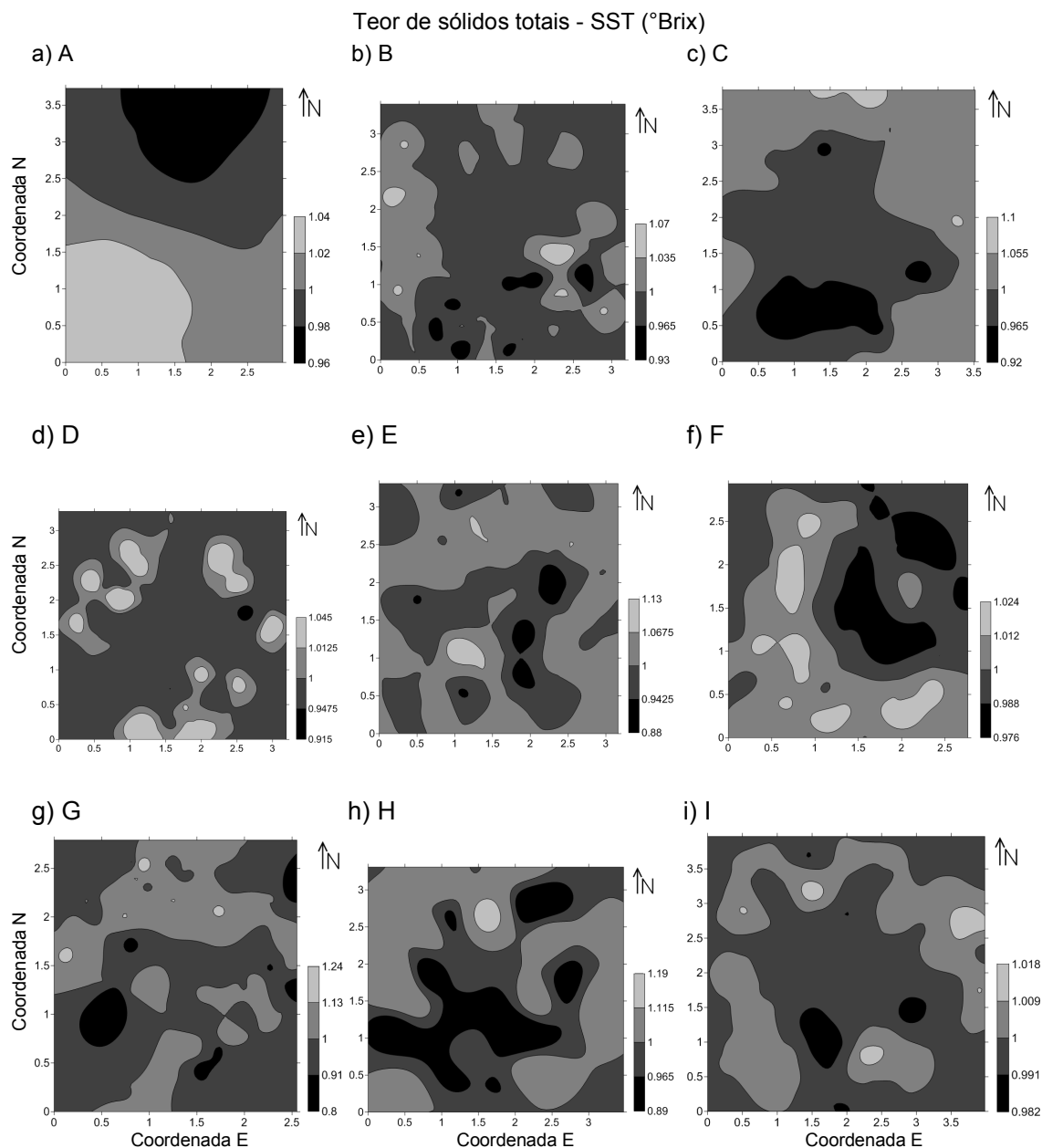


Figura 56 Mapas temáticos bidimensionais referentes à distribuição espacial da média normalizada quanto aos teores de sólidos solúveis totais (SST) de frutos em pomar de laranjas, no triênio 2011, 2012 e 2013, Nova Laranjeiras, PR.

Na Figura 57, estão apresentados os mapas temáticos do teor de ATT e de acordo com o teor de SST, o mapa temático da árvore A apresentou a particularidade de estar mais definido e suavizado na distribuição espacial do teor de ATT.

Nesta árvore, valores acima da média são destacados na região SE e valores abaixo da média estão na região NO da árvore. Na árvore E, valores acima da média são destacados na região leste e valores abaixo da média são destacados na região oeste.

Na árvore G, a região SO destaca-se por apresentar valores abaixo da média e a região NO por apresentar valores acima da média. Nos demais mapas temáticos, a distribuição espacial do teor de ATT é aleatória, portanto, não segue um padrão definido.

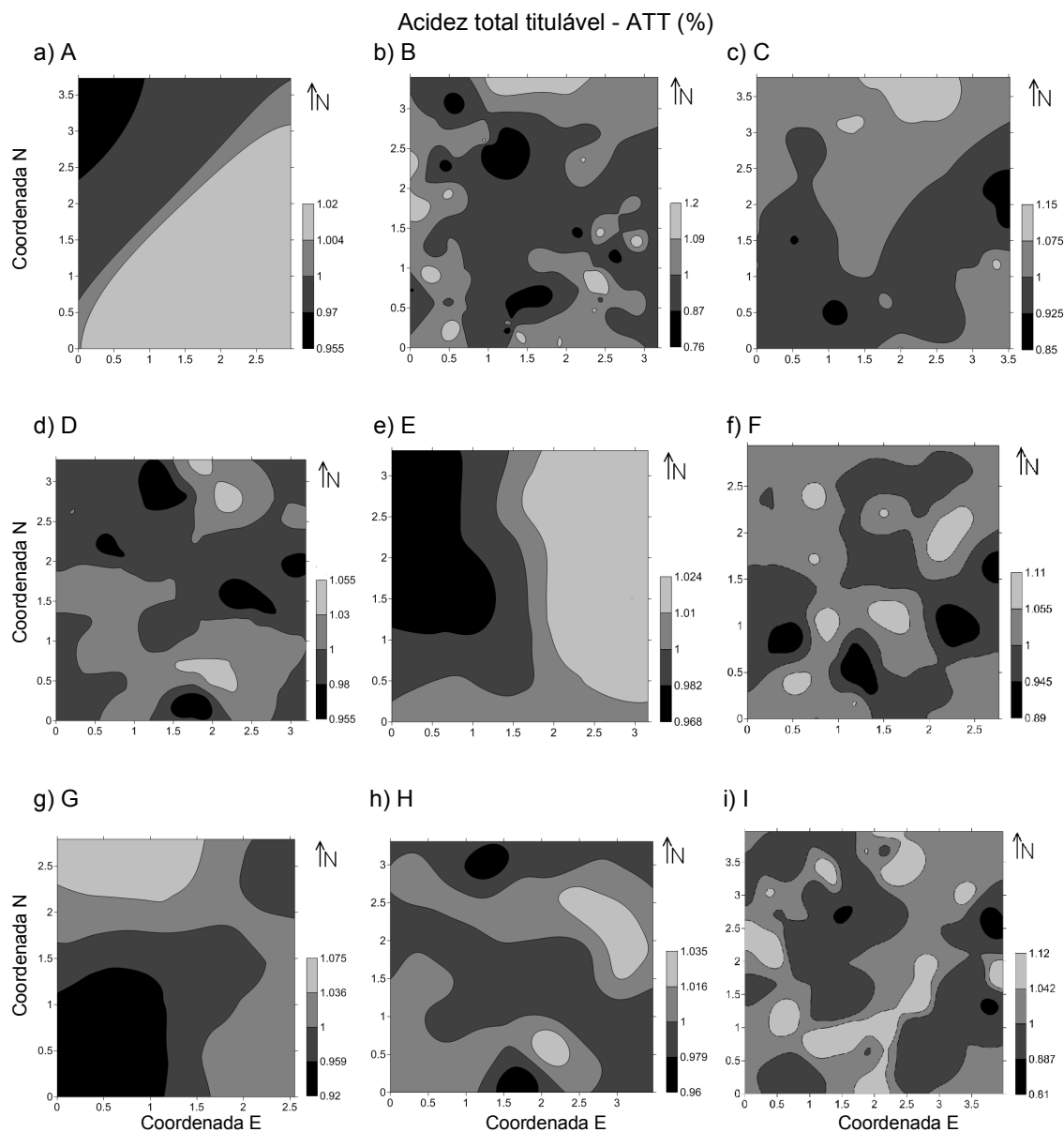


Figura 57 Mapas temáticos bidimensionais referentes à distribuição espacial da média normalizada quanto ao teor de acidez total titulável (ATT) de frutos em pomar de laranjas, no triênio 2011, 2012 e 2013, Nova Laranjeiras, PR.

Os mapas temáticos referentes ao *ratio* são apresentados na Figura 58 e, de acordo com os mesmos, as árvores C, D e I apresentam tendência de valores abaixo da média,

localizados na área central das árvores. As árvores A e F apresentam valores abaixo da média destacados na região NE. O mapa temático do *ratio* de G apresenta valores abaixo da média, destacados nas regiões NO e SE da árvore. As árvores B, D, E e H apresentam distribuição espacial aleatória do *ratio*.

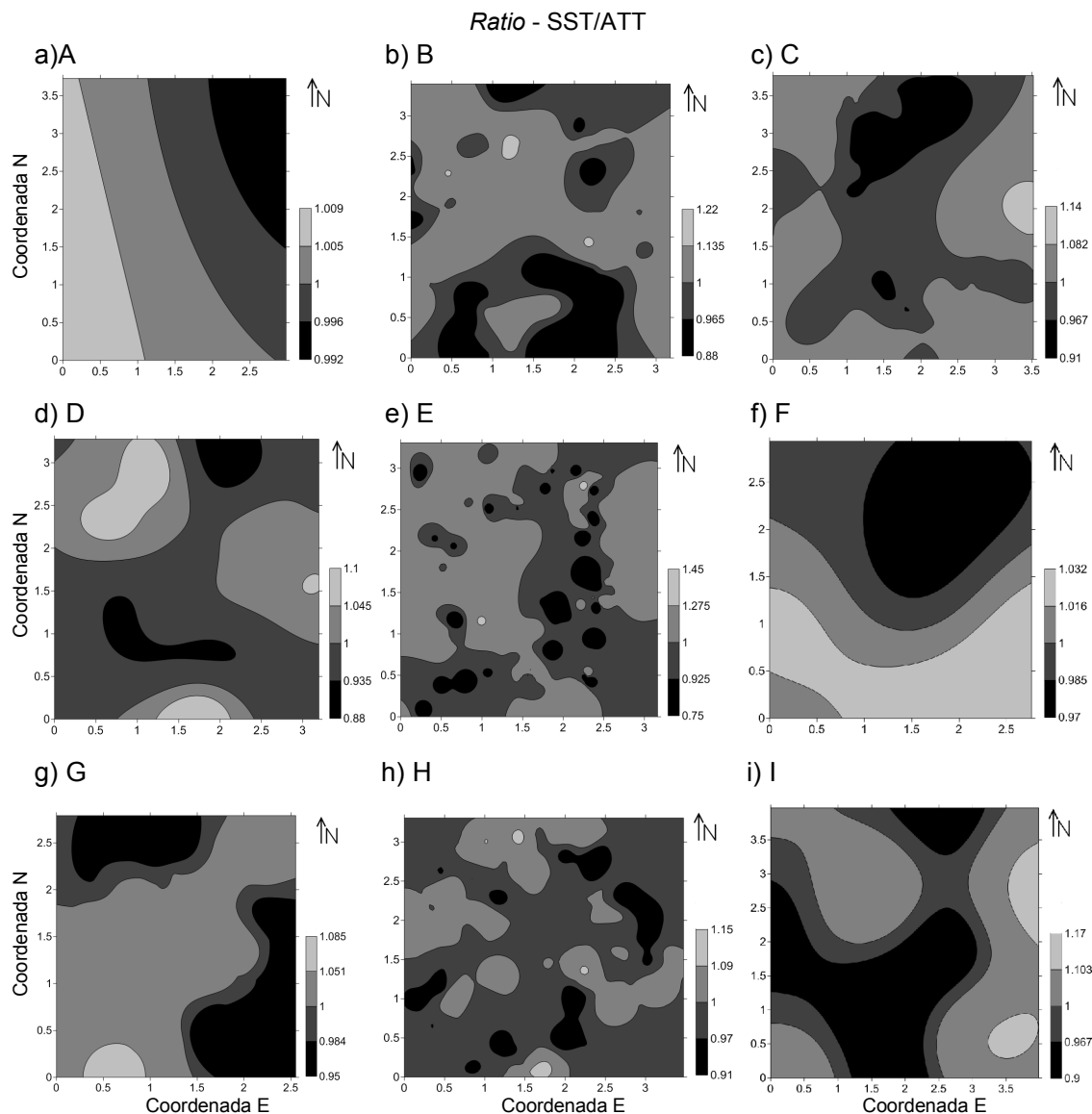


Figura 58 Mapas temáticos bidimensionais referentes à distribuição espacial do *ratio* (SST/ATT) de frutos em pomar de laranjas, no triênio 2011, 2012 e 2013, Nova Laranjeiras, PR.

Os mapas temáticos quanto ao teor de AA estão apresentados na Figura 59 e demonstram que a distribuição espacial para esse atributo é bastante aleatória. Por exemplo, nas árvores A e G, os valores acima da média concentram-se na área central. Já na árvore B, tais valores destacam-se nas regiões extrema leste e extrema oeste.

Na árvore C, valores acima da média são destacados na região norte e valores abaixo da média na região SO. Na árvore D, valores abaixo da média são mais presentes na

região norte e valores acima da média na região sul. Na árvore H, valores abaixo da média localizam-se nas regiões central e sul e valores acima da média estão nas regiões leste e SE.

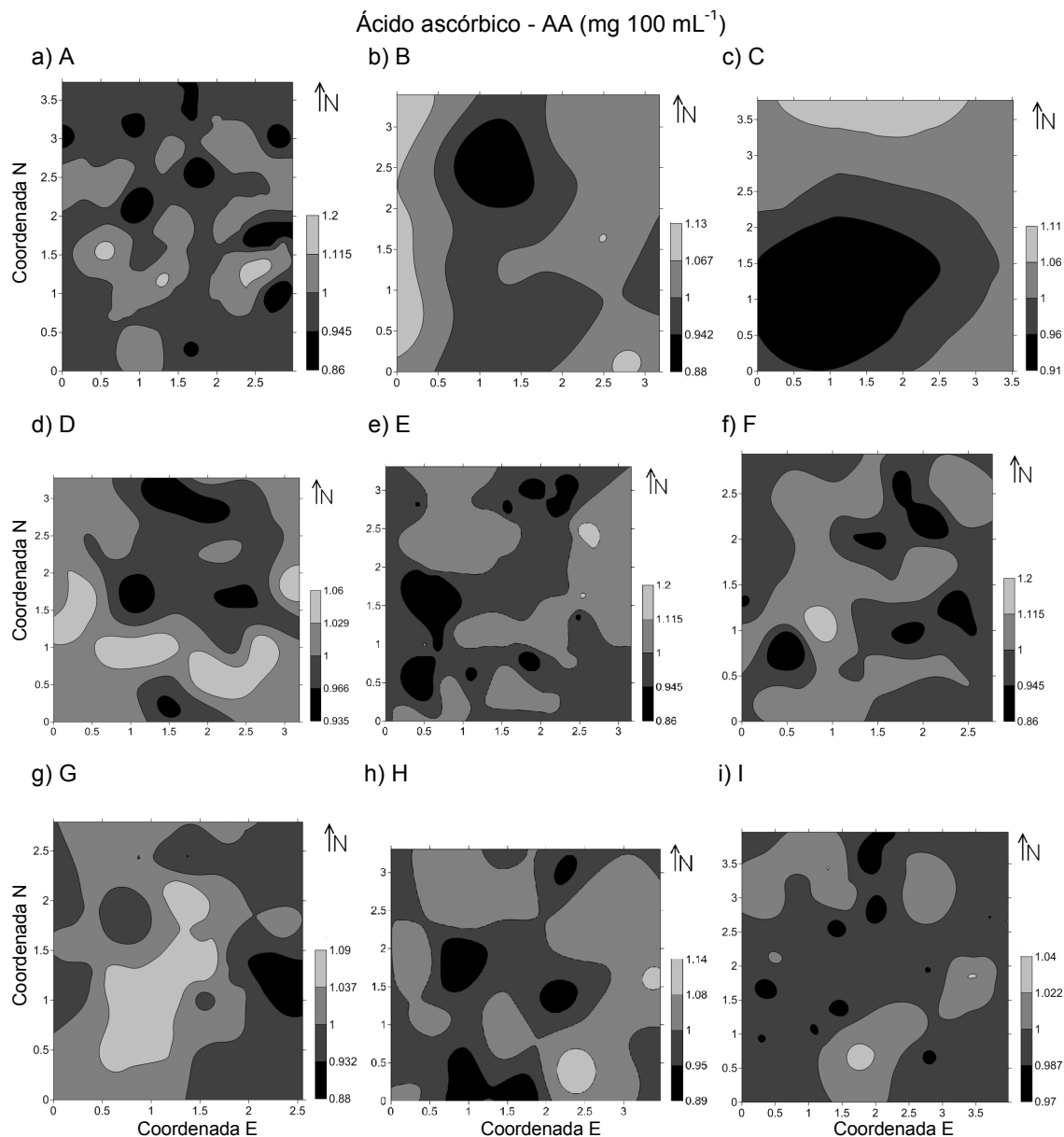


Figura 59 Mapas temáticos bidimensionais referentes à distribuição espacial da média normalizada do teor de ácido ascórbico (AA) de frutos em pomar de laranjas, no triênio 2011, 2012 e 2013, Nova Laranjeiras, PR.

II.5.6 Mapas temáticos tridimensionais

Os mapas temáticos tridimensionais representados no eixo y (norte-sul), eixo x (leste-oeste) e eixo z (cota) dos atributos estudados estão apresentados nas Figuras 61 a 64. São apresentados também cortes no eixo z, os quais representam os terços basal, intermediário e apical, cujos pontos representam as posições dos frutos na árvore. Os

mapas temáticos tridimensionais da média normalizada do teor de SST das árvores A, B e C são apresentados na Figura 60.

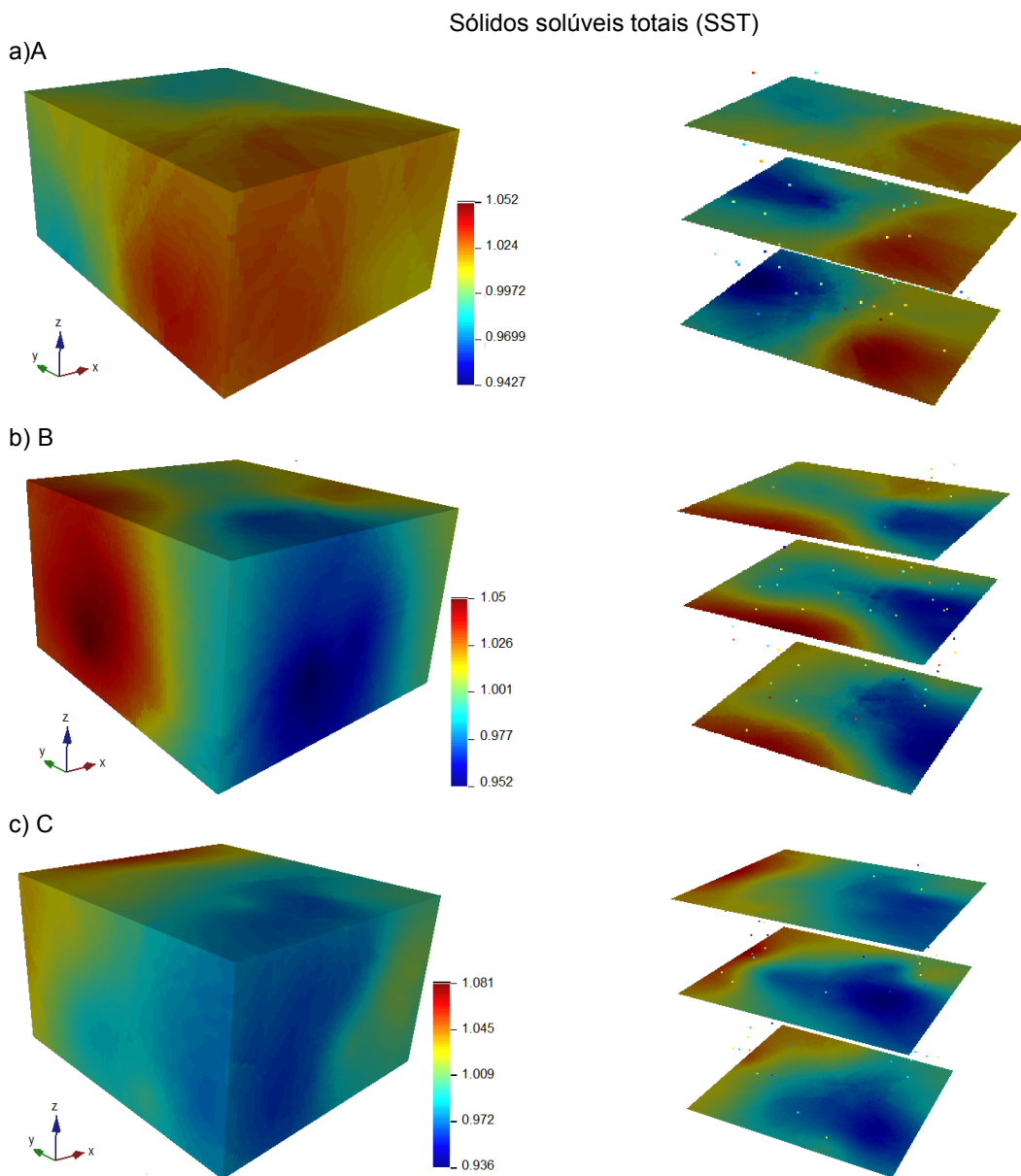


Figura 60 Mapas tridimensionais referentes à distribuição espacial da média normalizada do teor de sólidos solúveis totais (SST) de frutos em pomar de laranjas, nas árvores A, B e C, no triênio 2011 a 2013, Nova Laranjeiras, PR.

O mapa temático do teor de SST da árvore A evidencia que os valores abaixo da média localizam-se na região norte da árvore com maior destaque para os terços basal e intermediário. O inverso acontece com valores acima da média, onde tais valores estão na região sul em todos os terços. Já no mapa temático do teor de SST da árvore B, a situação é inversa, ou seja, os valores abaixo da média concentram-se na região sul e valores acima da média localizam-se nas regiões norte e extremo oeste da árvore em todos os terços. O

comportamento da variabilidade espacial tridimensional do teor de SST da árvore C é semelhante ao da árvore B, porém, com concentração de valores acima da média, localizados na região extrema norte da árvore em todos os terços. Os mapas temáticos tridimensionais da média normalizada do teor de SST das árvores D, E e F são apresentados na Figura 61.

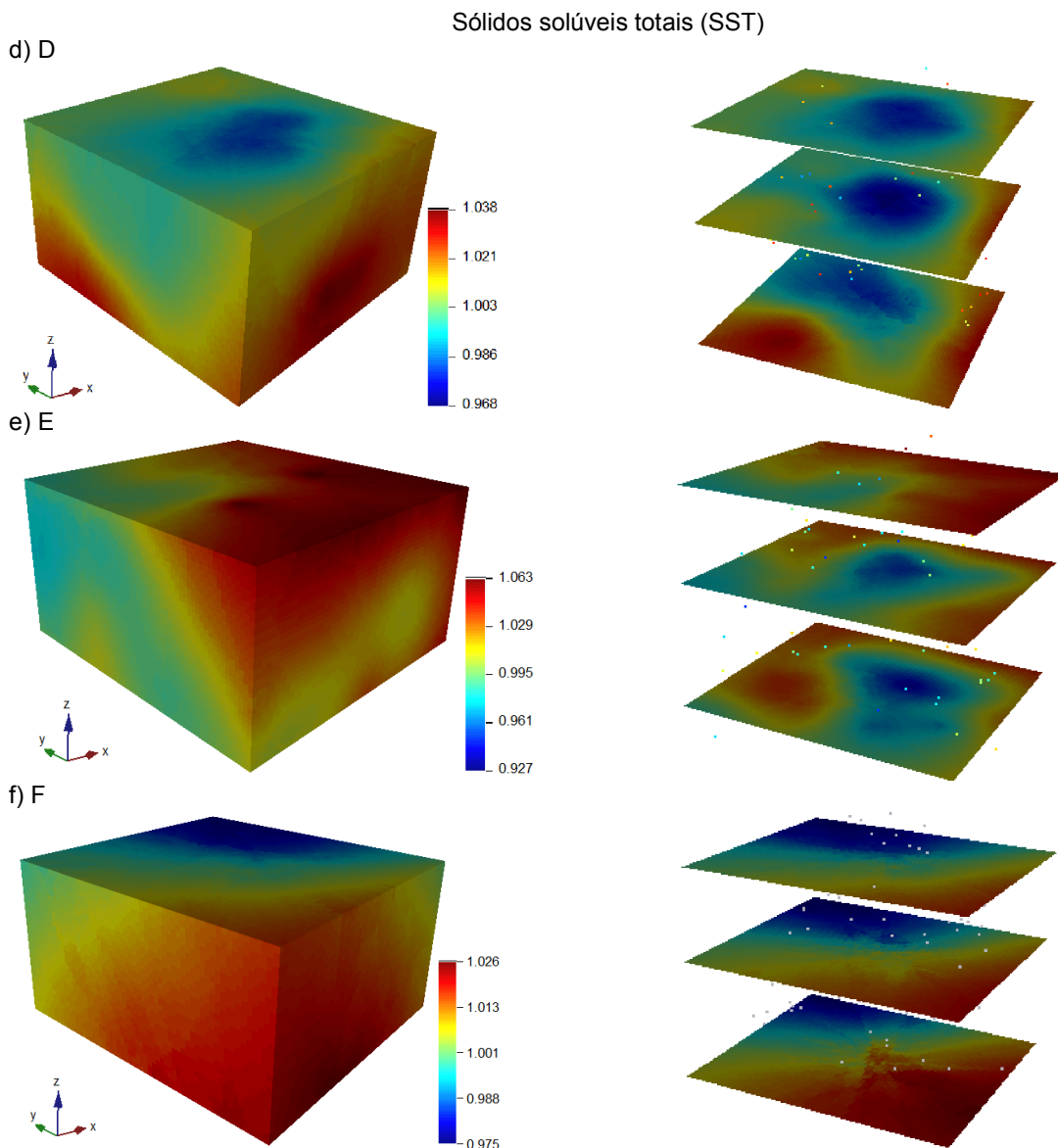


Figura 61 Mapas tridimensionais referentes à distribuição espacial da média normalizada do teor de sólidos solúveis totais (SST) de frutos em pomar de laranjas, nas árvores D, E e F, no triênio 2011 a 2013, Nova Laranjeiras, PR.

Para a árvore D, valores abaixo da média dos teores de SST localizam-se na região central nos terços superior e intermediário e região centro - NE no terço apical. Para valores acima da média, a concentração é na região periférica da árvore nos terços apical e intermediário e regiões extremo sul e NO para o terço basal. O mapa temático da árvore E é caracterizado por possuir valores acima da média nas regiões leste e sul no terço apical,

região periférica no terço intermediário e região norte para o terço basal. Nos terços intermediário e basal, os valores abaixo da média são bem definidos na região central da árvore. Para a árvore F, o comportamento é semelhante em todos os terços da árvore, com valores abaixo da média, localizados na região NE e valores acima da média localizados na região SO. Os mapas temáticos do teor de SST das árvores G, H e I são apresentados na Figura 62.

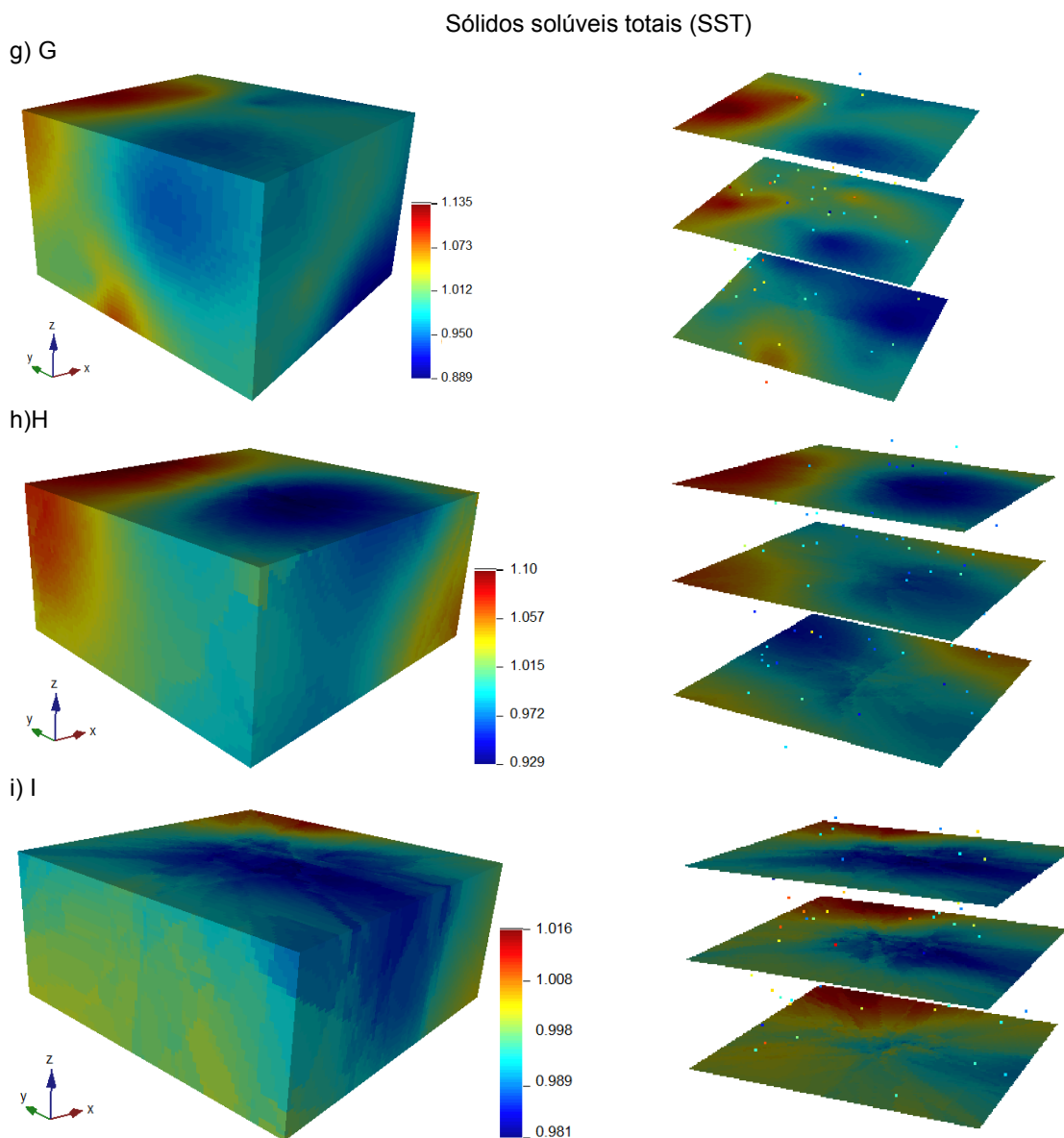


Figura 62 Mapas tridimensionais referentes à distribuição espacial da média normalizada do teor de sólidos solúveis totais (SST) de frutos em pomar de laranjas, nas árvores G, H e I, no triênio 2011 a 2013, Nova Laranjeiras, PR.

Para a árvore G, o mapa temático do teor de SST é evidenciado por possuir valores abaixo da média, localizados na região sul da árvore em todos os terços; e valores acima da média na região norte nos terços apical e intermediário e região NO no terço basal.

Na árvore H, o mapa temático é caracterizado por possuir valores abaixo da média na região sul da árvore nos terços apical, intermediário e basal, mas nesse último, a concentração maior é localizada na região norte. Valores acima da média estão localizados na região norte da árvore para os terços apical e intermediário e regiões SE e NO no terço basal. A árvore I é caracterizada por seu mapa temático possuir valores abaixo da média na região centro-sul e valores acima da média na região periférica, com maior concentração na região NE, em todos os terços.

Os mapas temáticos do teor de ATT das árvores A, B e C são apresentados na Figura 63. O mapa temático do teor de ATT da árvore A caracteriza-se por apresentar valores abaixo da média localizados na região NO da árvore em todos os terços e valores acima da média nas demais regiões.

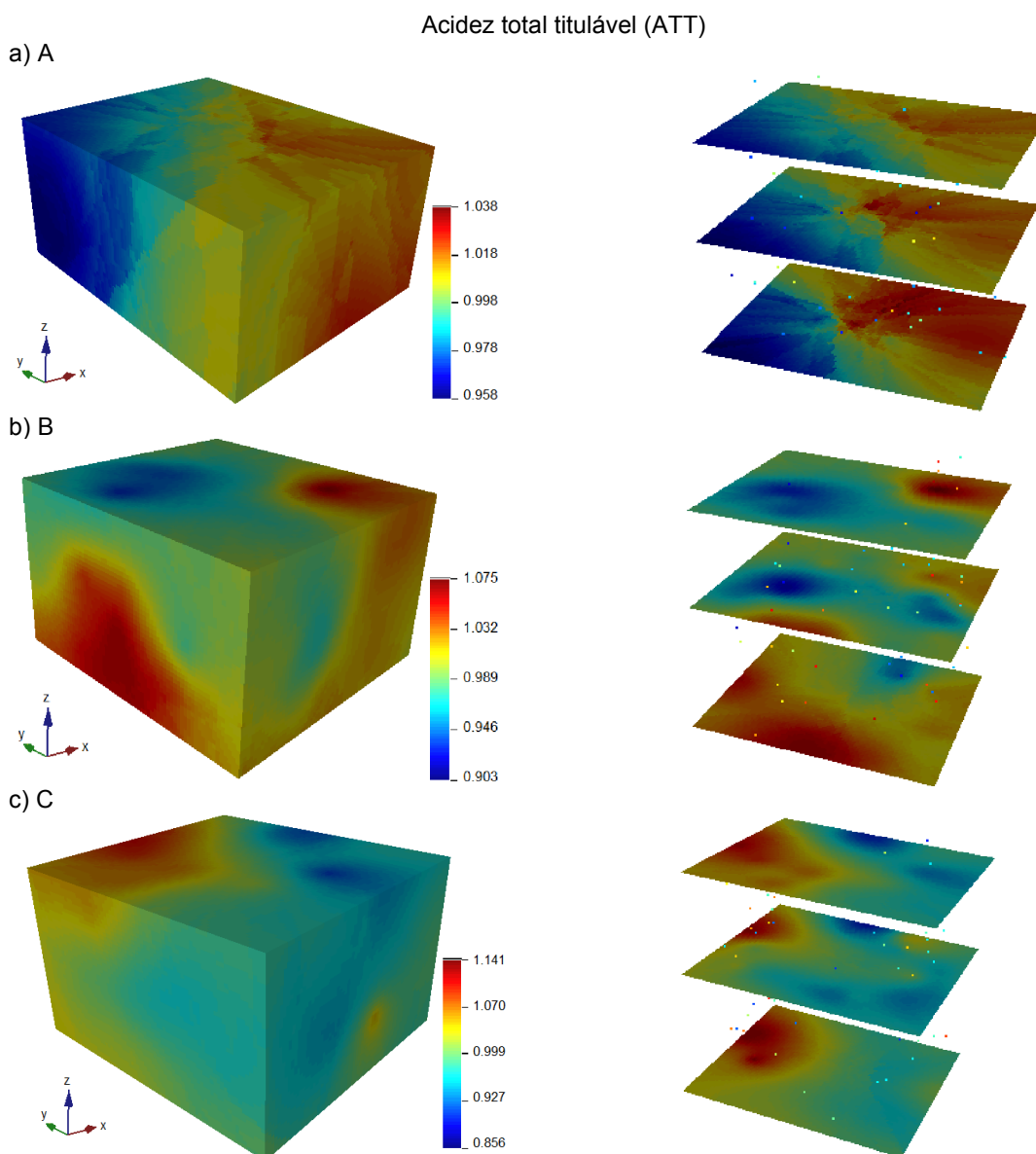


Figura 63 Mapas tridimensionais referentes à distribuição espacial da média normalizada do teor de acidez total titulável (ATT) de frutos em pomar de laranjas, nas árvores A, B e C, no triênio 2011 a 2013, Nova Laranjeiras, PR.

Com relação à árvore B, valores abaixo da média são destacados nos terços apical e intermediário na região centro-norte. Valores acima da média estão bem definidos na região SO para o terço apical e praticamente todas as regiões da árvore no terço basal. A distribuição espacial do teor de ATT na árvore C é caracterizada por evidenciar a presença de valores acima da média na região centro-norte da árvore em todos os terços e valores abaixo da média na região sul, com máximos valores presentes na região leste nos terços apical e intermediário. Os mapas temáticos do teor de ATT das árvores D, E e F são apresentados na Figura 64.

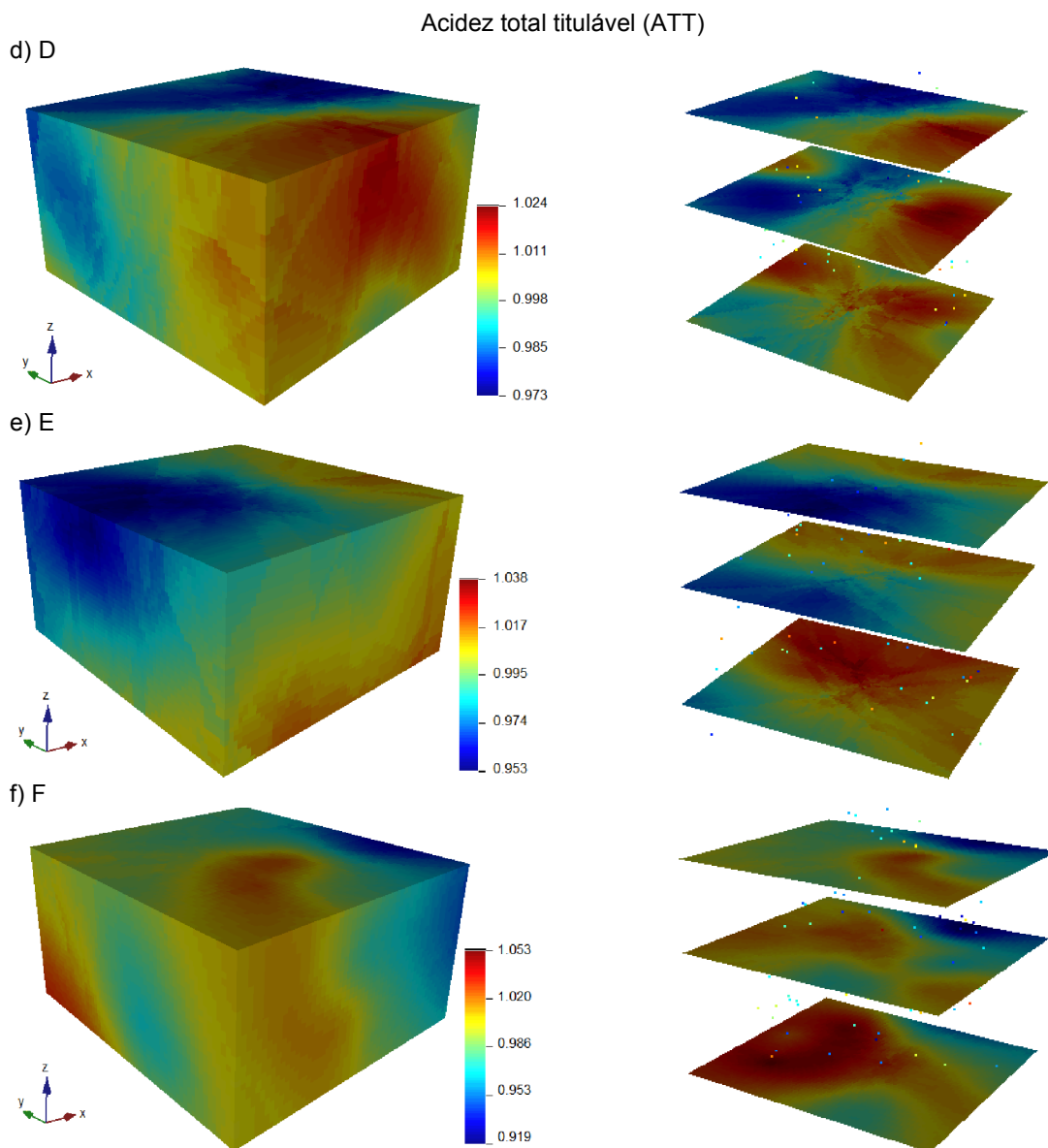


Figura 64 Mapas tridimensionais referentes à distribuição espacial da média normalizada do teor de acidez total titulável (ATT) de frutos em pomar de laranjas, nas árvores D, E e F, no triênio 2011 a 2013, Nova Laranjeiras, PR.

Ao contrário da árvore C, a árvore D apresenta concentração de valores abaixo da média, os quais estão localizados na região norte nos terços apical e intermediário e na

região NO do terço basal. Valores acima da média são bem destacados na região sul em todos os terços da árvore. A árvore E caracteriza-se em possuir os valores abaixo da média, localizados na região oeste nos terços apical e intermediário. Valores acima da média em todo terço basal e na região leste dos terços apical e intermediário. Já para a árvore F, valores abaixo da média, para todos os terços, se localizam na região SE da árvore. Maiores concentrações de valores acima da média apresentam-se nas demais regiões dos terços, com maior destaque para a região norte do terço basal. Os mapas temáticos do teor de ATT das árvores G, H e I são apresentados na Figura 65.

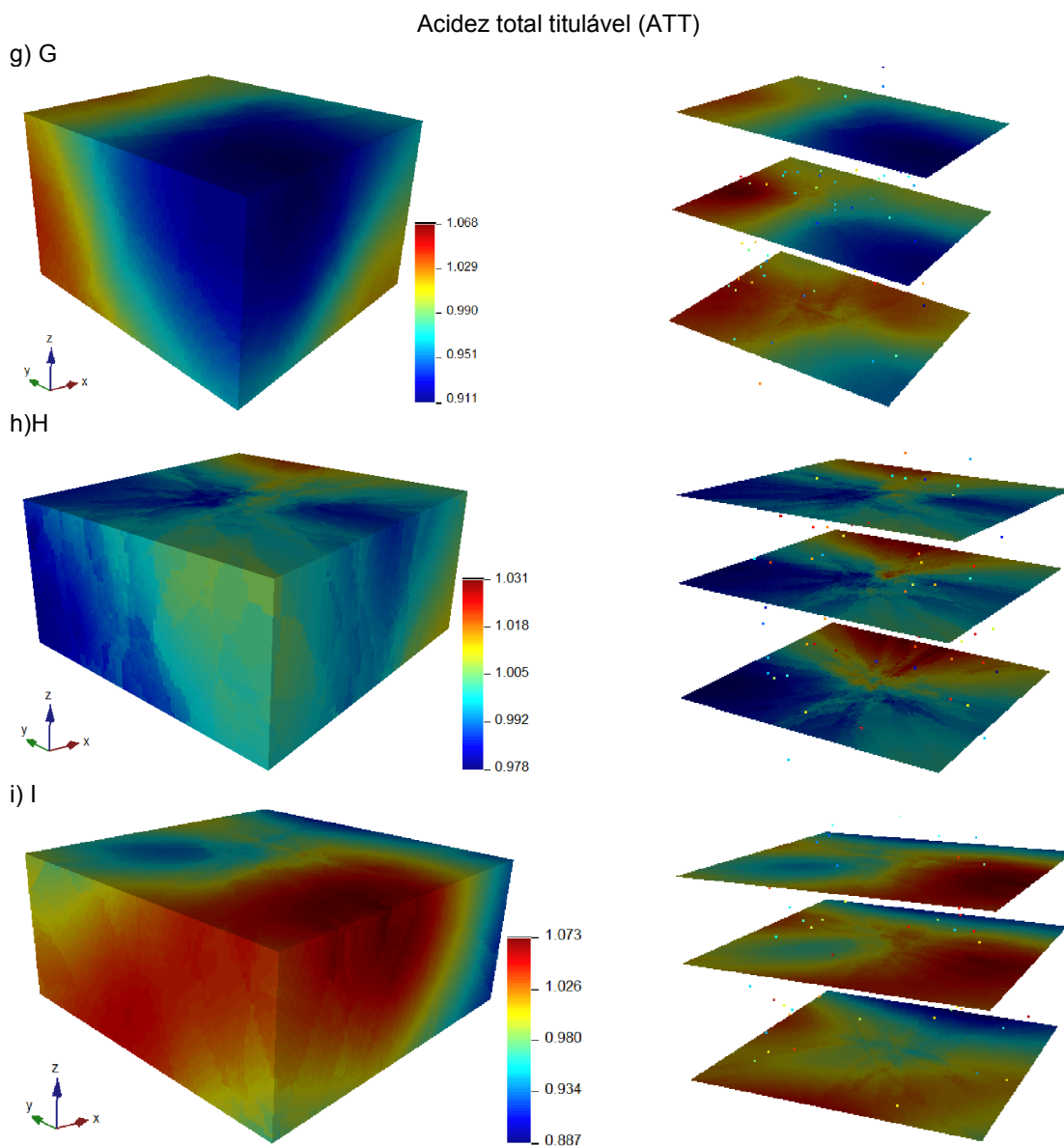


Figura 65 Mapas tridimensionais referentes à distribuição espacial da média normalizada do teor de acidez total titulável (ATT) de frutos em pomar de laranjas, nas árvores D, E e F, no triênio 2011 a 2013, Nova Laranjeiras, PR.

Para a árvore G, o mapa é evidenciado por possuir concentração de valores abaixo da média nas regiões sul e SO nos terços apical e intermediário, respectivamente; e valores

acima da média, destacados na região norte da árvore em todos os terços. Para a árvore H, o comportamento da distribuição espacial do teor de ATT apresenta valores acima da média, localizados principalmente na face leste da árvore e valores abaixo da média no restante da árvore. O mapa temático para a árvore I apresenta concentração de valores acima da média nas regiões sul e oeste em todos os terços e valores abaixo da média na região extrema leste, evidenciada também em todos os terços. Os mapas temáticos do *ratio* das árvores A, B e C são apresentados na Figura 66.

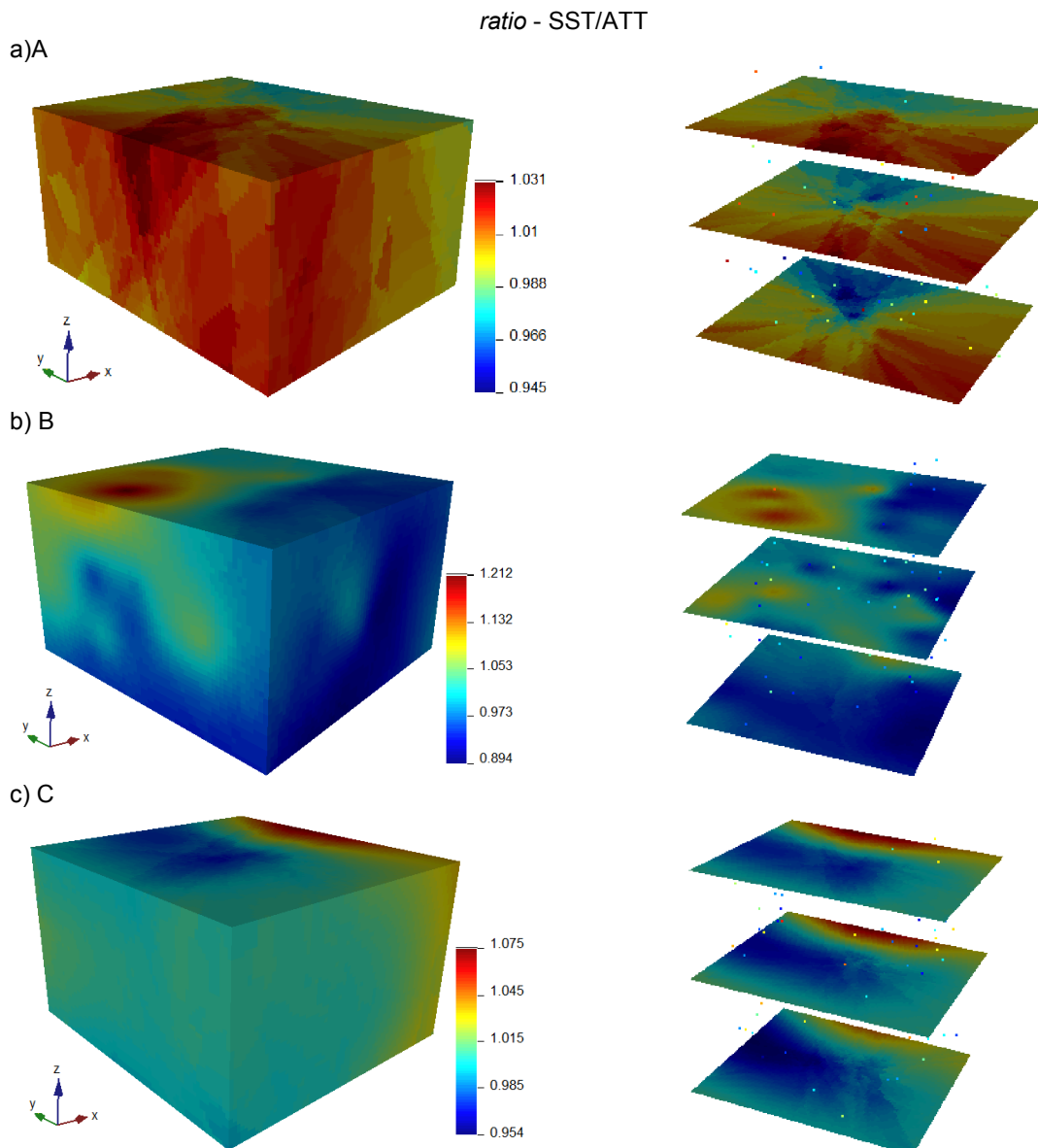


Figura 66 Mapas tridimensionais referentes à distribuição espacial da média normalizada do *ratio* em pomar de laranjas, nas árvores A, B e C, no triênio 2011 a 2013, Nova Laranjeiras, PR.

Para a árvore A, valores abaixo da média do *ratio* estão localizados na região NE da árvore e com maior ênfase no terço basal. Nas demais regiões, a predominância é de valores acima da média. O mapa temático do *ratio* para a árvore B caracteriza-se por

possuir, no terço basal, a predominância de valores abaixo da média. Nos terços intermediário e apical, valores abaixo da média predominam na região sul e valores acima da média, na região NE da árvore. Para a árvore C, valores acima da média estão localizados na região extrema leste em todos os terços enquanto os valores abaixo da média estão nas demais regiões e em todos os terços. Os mapas temáticos do *ratio* das árvores D, E e F são apresentados na Figura 67.

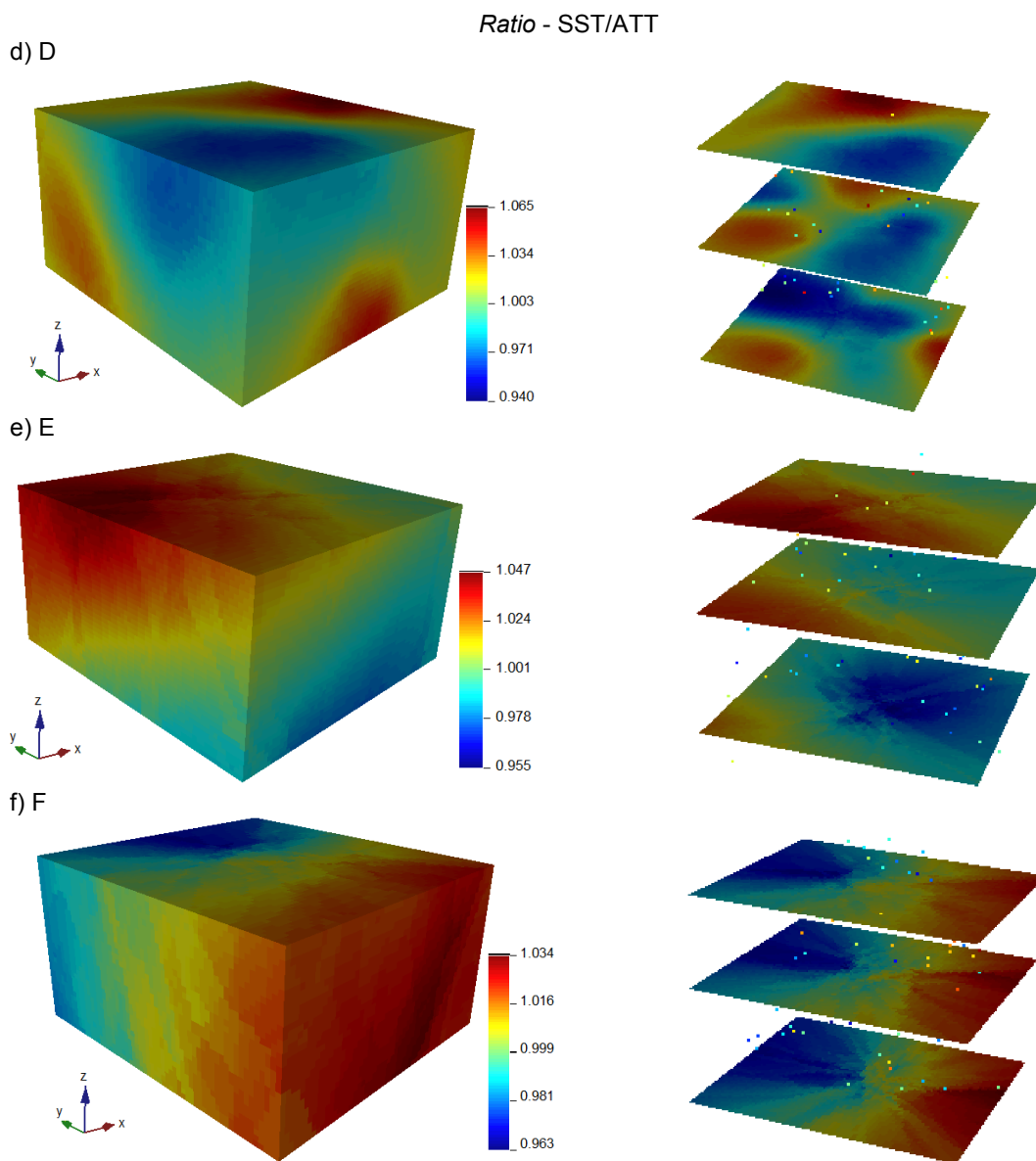


Figura 67 Mapas tridimensionais referentes à distribuição espacial da média normalizada do *ratio* em pomar de laranjas, nas árvores D, E e F, no triênio 2011 a 2013, Nova Laranjeiras, PR.

Em relação à árvore D, os valores abaixo da média estão localizados na região SO principalmente nos terços apical e intermediário e centro - NE para o terço basal. Valores acima da média concentram-se na região NE no terço apical e na região NO para os demais terços. O mapa temático da árvore E apresenta valores abaixo da média, concentrados nos

terços basal e intermediário na região SE. Todavia, valores acima da média são destacados em todo terço apical e região NO do terço intermediário. Para a árvore F, em todos os terços, valores acima da média localizam-se na região sul e os valores abaixo da média estão na região norte. Os mapas temáticos do *ratio* das árvores G, H e I são apresentados na Figura 68. Na árvore G, os valores acima da média estão localizados em toda região no terço apical, região sul no terço intermediário e região SO no terço basal. Valores abaixo da média são bem destacados em todo terço basal, com exceção da região extrema SO e na região norte do terço intermediário.

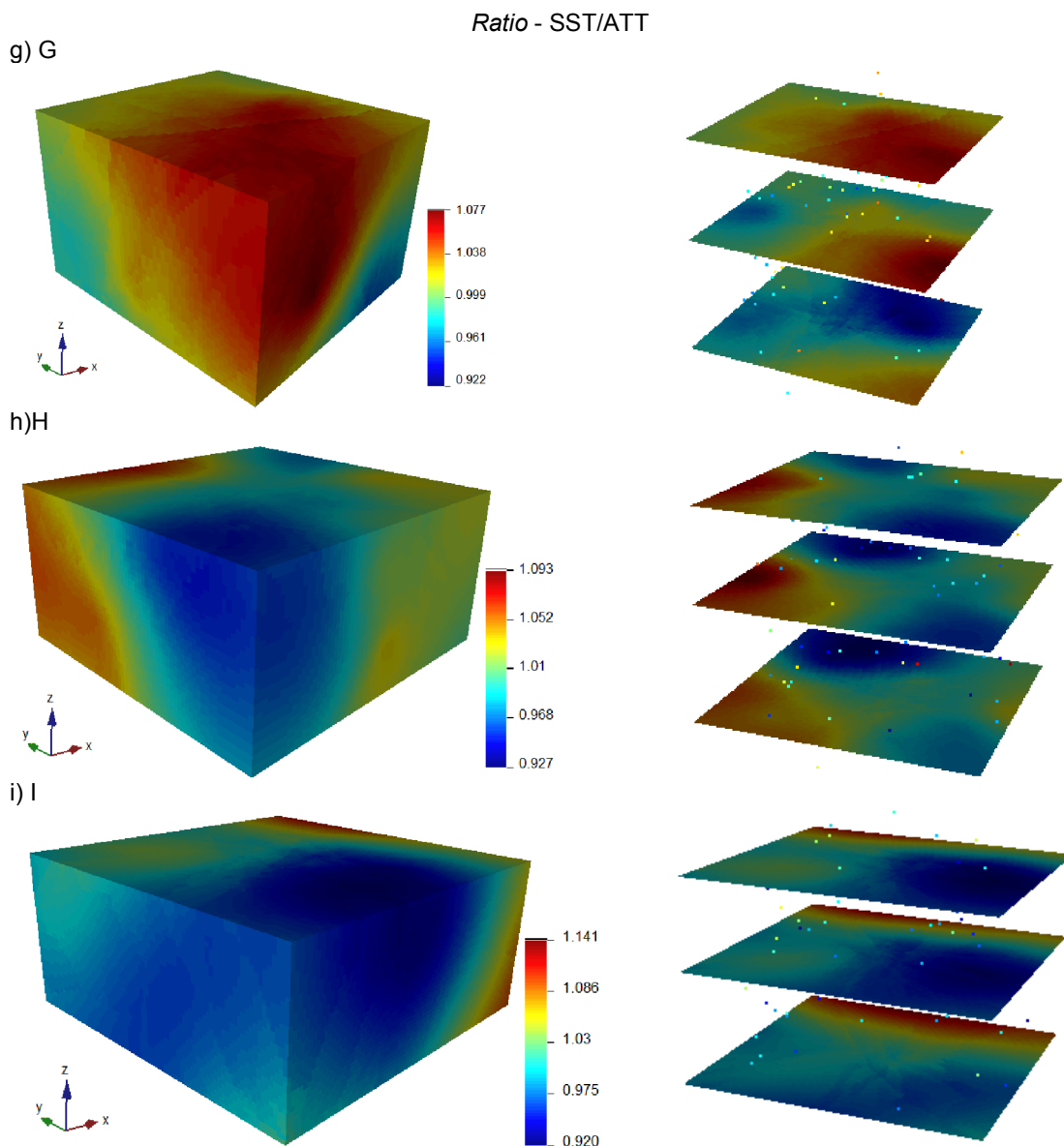


Figura 68 Mapas tridimensionais referentes à distribuição espacial da média normalizada do *ratio* em pomar de laranjas, nas árvores G, H e I, no triênio 2011 a 2013, Nova Laranjeiras, PR.

As regiões SO e NE do mapa temático do *ratio* na árvore H são evidenciadas por possuírem valores abaixo da média e as regiões SE e NO por possuírem valores acima da

média em todos os terços. O mapa temático do *ratio* da árvore I segue os mesmos padrões de distribuição espacial encontrados na árvore C. Os mapas temáticos do teor de AA, para as árvores A, B e C, são apresentados na Figura 69. O mapa temático do teor de AA da árvore A apresenta distribuição espacial semelhante entre terços, em que valores acima da média tendem a estar localizados nas regiões sul e leste, e, valores abaixo da média tendem a estar localizados nas regiões norte e NO da árvore.

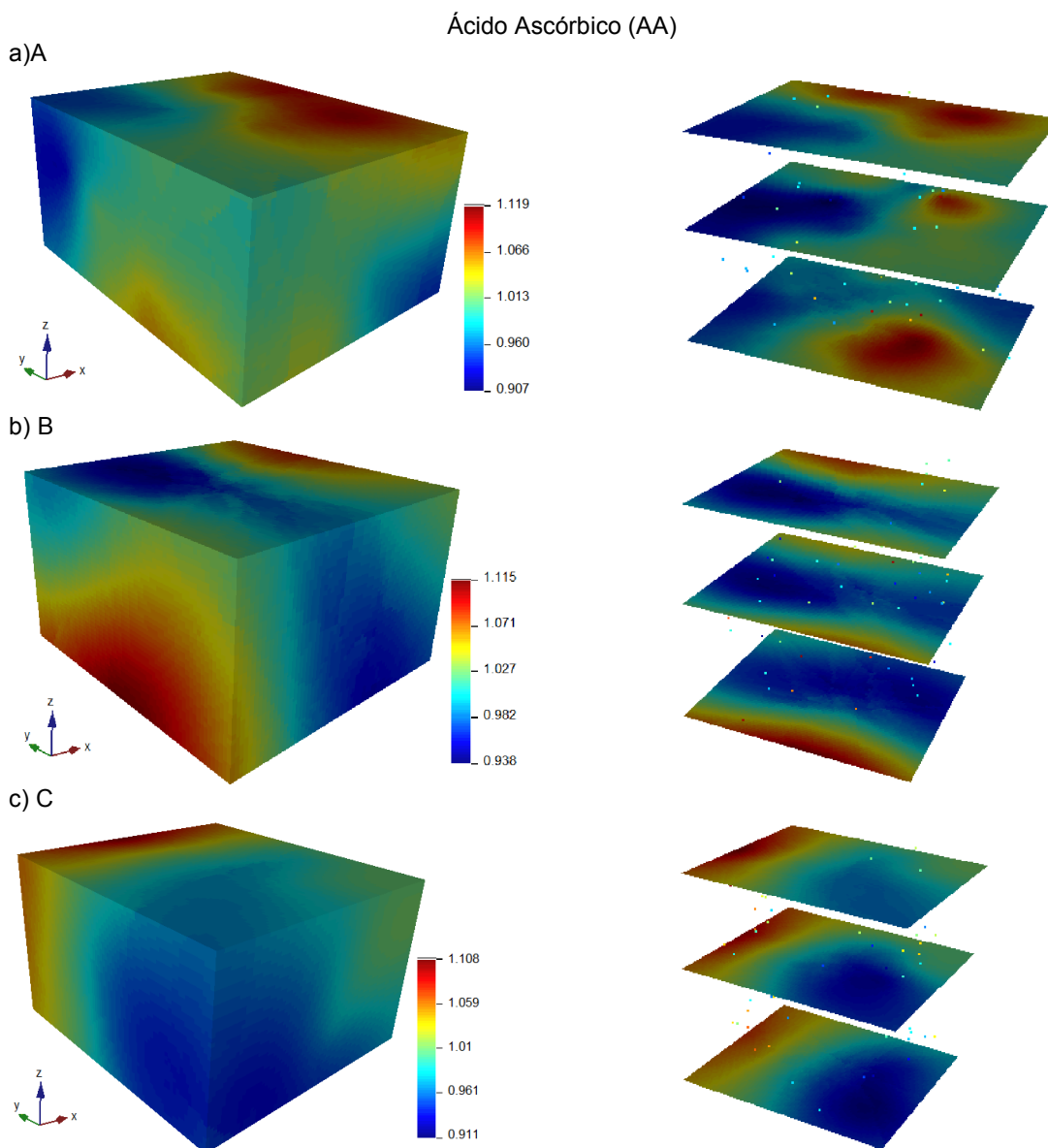


Figura 69 Mapas tridimensionais referentes à distribuição espacial da média normalizada do teor de AA em pomar de laranjas, nas árvores A, B e C, no triênio 2011 a 2013, Nova Laranjeiras, PR.

Os valores acima da média do teor de AA localizam-se nas regiões extrema leste e extrema oeste com relação à árvore B e valores abaixo da média nas regiões centro-sul e centro-norte do mapa temático. Já a árvore C possui valores acima da média na região norte e valores abaixo da média na região sul, em todos os terços.

Os mapas temáticos do teor de AA, para as árvores D, E e F, são apresentados na Figura 70. No mapa da árvore D, valores acima da média concentram-se na região sul e valores abaixo da média concentram-se na região norte do mapa temático, em todos os terços. Com relação à árvore E, o teor de AA apresenta distribuição aleatória, mas com a tendência de apresentar valores acima da média na região leste e valores abaixo da média na região oeste.

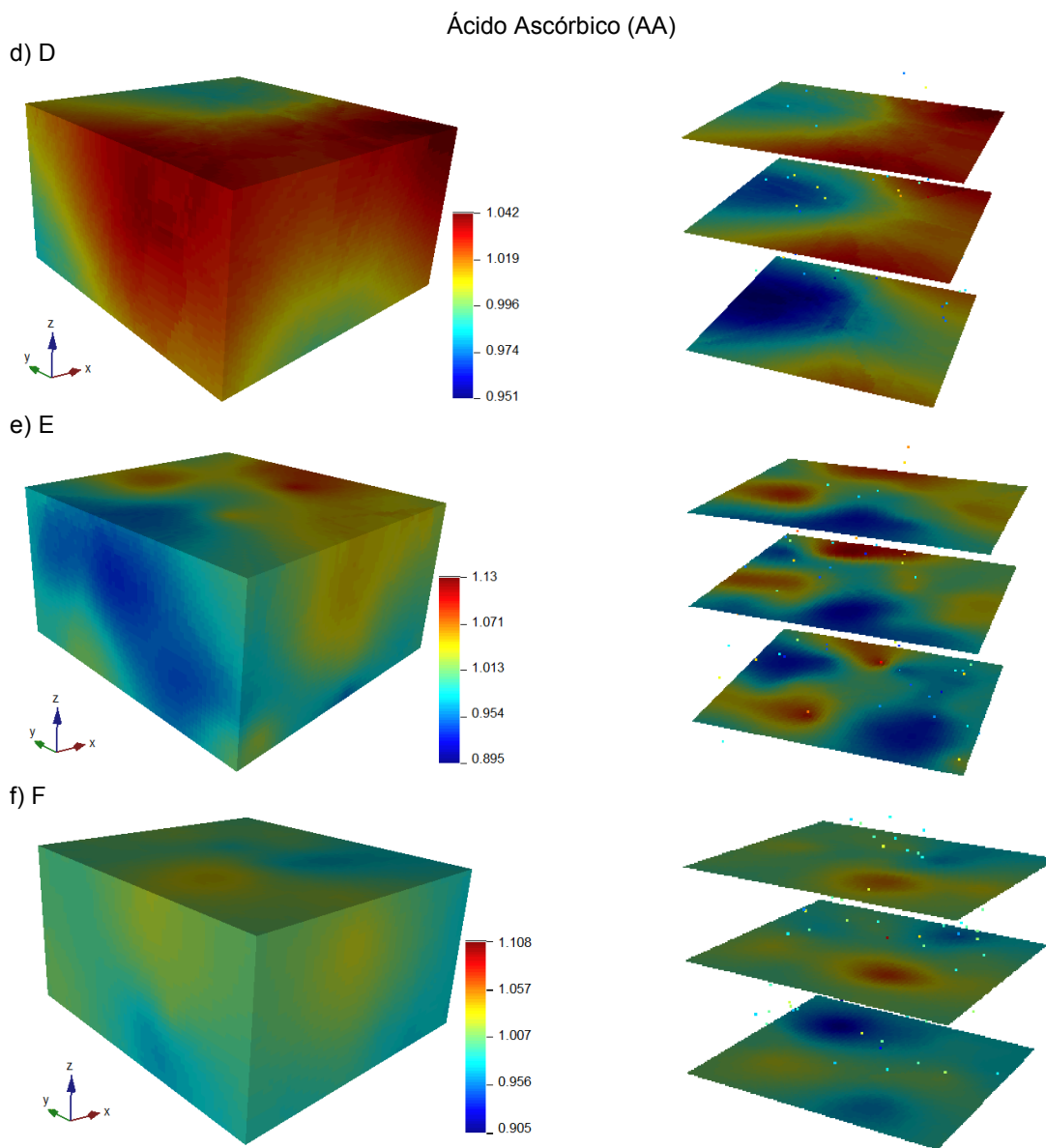


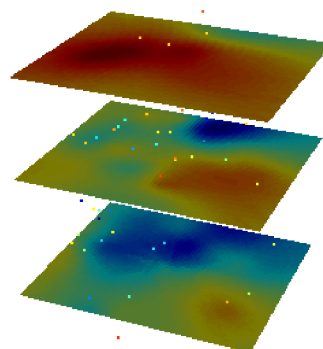
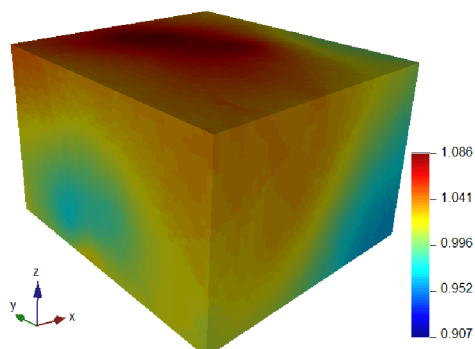
Figura 70 Mapas tridimensionais referentes à distribuição espacial da média normalizada do teor de AA em pomar de laranjas, nas árvores D, E e F, no triênio 2011 a 2013, Nova Laranjeiras, PR.

A distribuição espacial do teor de AA para a árvore F apresenta valores acima da média, bem definidos nos terços apical e intermediário. No terço basal, valores abaixo da média são bem definidos nas regiões NE e SO da árvore. Os mapas temáticos do teor de AA, para as árvores G, H e I, são apresentados na Figura 71. Na árvore G, o terço apical é

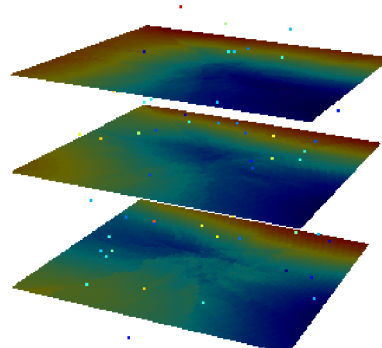
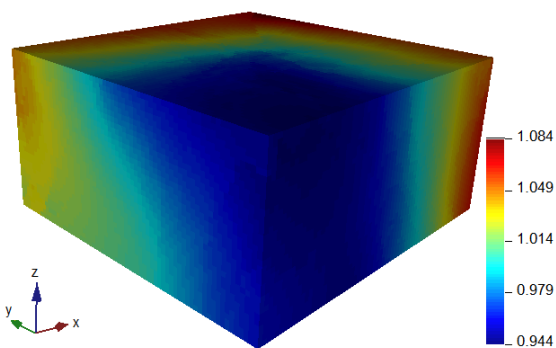
caracterizado por possuir somente valores acima da média e nos terços intermediário e basal, concentrados na região oeste da árvore. O terço basal também é caracterizado por possuir grande concentração de valores abaixo da média na região leste da árvore.

Ácido Ascórbico (AA)

g) G



h) H



i) I

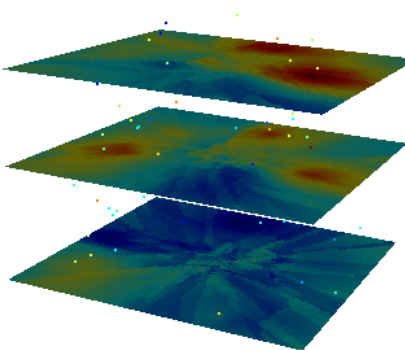
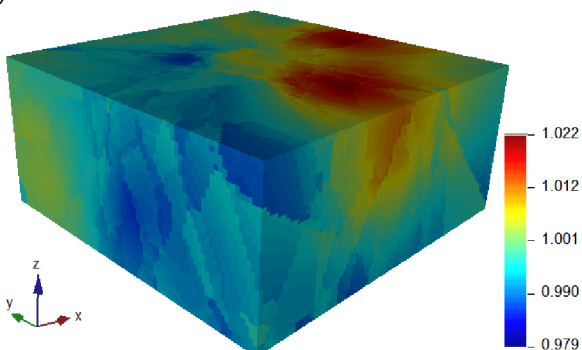


Figura 71 Mapas tridimensionais referentes à distribuição espacial da média normalizada do teor de AA em pomar de laranjas, nas árvores G, H e I, no triênio 2011 a 2013, Nova Laranjeiras, PR.

Os valores abaixo da média ficam na região SO com relação à árvore H, nos terços apical e intermediário e na região SE e centro norte no terço basal. Valores acima da média localizam-se na área periférica da árvore em todos os terços. Para a árvore I, visualiza-se maior concentração de valores abaixo da média em praticamente todo terço basal. Nos terços intermediário e apical, valores acima da média localizam-se nas regiões SE e NO da árvore e valores abaixo da média na região SO.

II.5.7 Modelo geral do pomar

Os dados dos atributos químicos dos frutos de laranjas contaram com nove repetições (árvores), coletados em um período de 03 safras (2010/2011, 2011/2012 e 2012/2013), totalizando 715 frutos coletados e analisados.

De acordo com as análises dos mapas bidimensionais e tridimensionais, verifica-se que a variabilidade espacial dos atributos químicos estudados não segue padrão único de comportamento quando esses são analisados entre as árvores e nos terços das árvores. Então, para que se tenha visão global do comportamento dos atributos químicos e modelesse a variabilidade espacial tridimensional do pomar de laranjas, os dados de localização geográfica dos frutos de cada árvore foram recalculados e transportados para coincidir em apenas um ponto (árvore), preservando suas cotas verticais e valores normalizados de atributos.

Para a variável SST, a média geral foi de 9,3 °Brix (Tabela 19), com valores que variaram de 7,0 a 12,8 °Brix e CV de 9,4% (baixo). Para a variável ATT, a média geral foi de 0,98%, com valores que variaram de 0,58 a 1,36% e CV de 17,8% (médio). Para o *ratio*, a média foi de 9,8, com valores que variaram de 6,7 a 15,5 e CV de 18,8% (médio). Todavia, para o teor de AA, a média geral foi de 55,5 mg 100 mL⁻¹, com valores que variaram de 40,0 a 76,7 mg 100 mL⁻¹ e CV de 13,1% (médio).

Os valores médios entre os terços foram semelhantes para o teor de SST, com CV de 0,37% entre os mesmos. Os valores encontrados foram um pouco inferiores aos encontrados por Lemos et al. (2012), que foram de 10,6; 10,6 e 10,8 °Brix nos terços basal, intermediário e apical, respectivamente, em laranjas da variedade Pera Rio. Os CVs entre os terços foram de 1,55%, 2,06% e 1,55% para ATT, *ratio* e AA, respectivamente.

Lemos et al. (2012) encontraram valores do teor de AA de 32,0; 29,1 e 31,6 mg 100mL⁻¹ nos terços basal, intermediário e apical, respectivamente, ou seja, valores inferiores aos encontrados neste trabalho. Assim, nada se pode comprovar com relação ao aumento do valor do atributo (SST, ATT, *ratio* e AA) em função do aumento da cota do fruto.

Tabela 19 Médias de valores dos atributos químicos com relação à posição dos frutos nos terços de nove árvores em pomar de laranjeiras, no triênio 2011, 2012 e 2013, Nova Laranjeiras, PR

Terço	SST (°Brix)	ATT (%)	<i>ratio</i> (SST/ATT)	AA (mg 100 mL ⁻¹)
Basal	9,3	1,00	9,6	54,7
Intermediário	9,4	0,97	10,0	55,5
Apical	9,3	0,98	9,7	56,5
Geral	9,3	0,98	9,8	55,5

SST: sólidos solúveis totais; ATT: acidez total titulável; *ratio*: SST/ATT; AA: ácido ascórbico.

Na Tabela 20, estão apresentados os resultados da análise geoestatística bem como o melhor modelo ajustado para cada atributo químico, parâmetros estimados e respectivas classificações de dependência espacial. O maior alcance foi de 3,54 m para o teor de ATT e

o menor alcance foi de 0,05 m para o *ratio*. As dependências espaciais entre amostras foram classificadas como fraca (ATT e *ratio*) e moderada (SST e AA).

Tabela 20 Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais dos atributos químicos de frutos em pomar de laranjas, Nova Laranjeiras, PR.

Variáveis	Modelos	C ₀	C ₁	C ₀ + C ₁	a (m)	IDE (%)	Dependência
SST	Exponencial	0,3468	0,4339	0,7806	0,09	44,42	Moderada
ATT	Esférico	0,0285	0,0019	0,0304	3,54	93,84	Fraca
<i>ratio</i>	Gaussiano	2,7893	0,8523	3,6417	0,05	76,59	Fraca
AA	Gaussiano	42,9941	20,2439	63,2381	0,08	67,99	Moderada

SST: sólidos solúveis totais; ATT: acidez total titulável; *ratio*: SST/ATT; AA: ácido ascórbico; C₀: efeito pepita; C₁: contribuição (*partial sill*); C₀ + C₁: patamar; a: alcance; IDE: índice de dependência espacial.

Os mapas bidimensionais (x, y) dos atributos químicos estão apresentados na Figura 72. A partir do mapa temático do SST, verifica-se que os valores acima da média normalizada tendem a estar concentrados na região periférica da árvore e valores abaixo da média localizam-se na região central, pois a região periférica da árvore tende a receber maior quantidade de radiação solar do que a região interna da árvore.

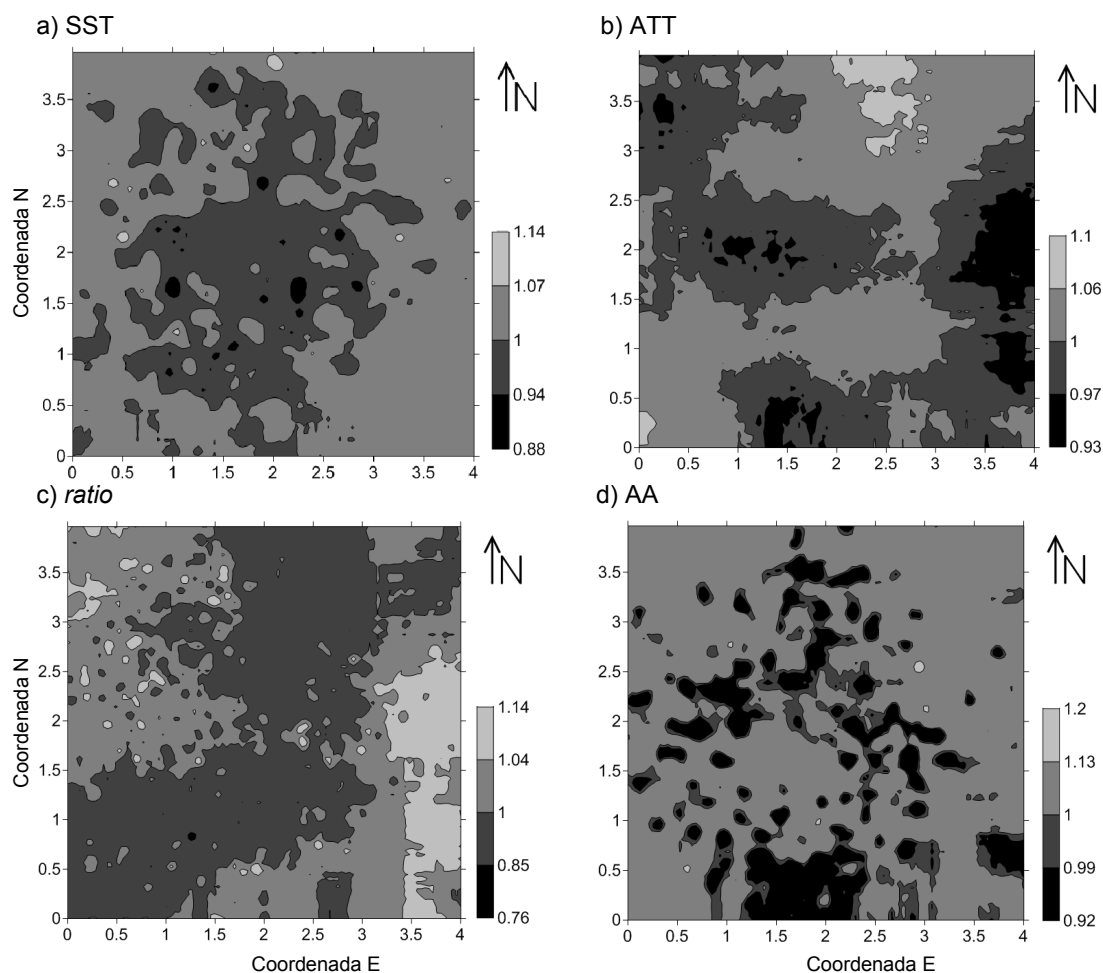


Figura 72 Mapas bidimensionais referentes à distribuição espacial da média normalizada dos atributos químicos de frutos em pomar de laranjas, no triênio 2011, 2012 e 2013, Nova Laranjeiras, PR.

Quanto ao teor de ATT, valores acima da média tendem a se concentrar nas regiões norte e SO e valores abaixo da média tendem a se concentrar nas regiões central-leste e NO da árvore. O mapa temático do *ratio* é caracterizado por possuir valores acima da média nas regiões central-leste e NO e valores abaixo da média tendem a se concentrar nas regiões NE e SO (inverso do mapa temático da ATT).

O mapa temático do teor de AA caracteriza-se pela aleatoriedade da distribuição espacial, porém, com tendência de possuir valores abaixo da média nas áreas central e sul da árvore.

A análise da variabilidade espacial tridimensional no conjunto de dados geral requereu a construção de novo grid tridimensional (Figura 73a). Para tal, as novas coordenadas máximas foram 4,002; 3,966 e 2,269 m, perfazendo 81, 80 e 46 voxels, para x, y e z, respectivamente. A representação bidimensional dos frutos é ilustrada na Figura 73b.

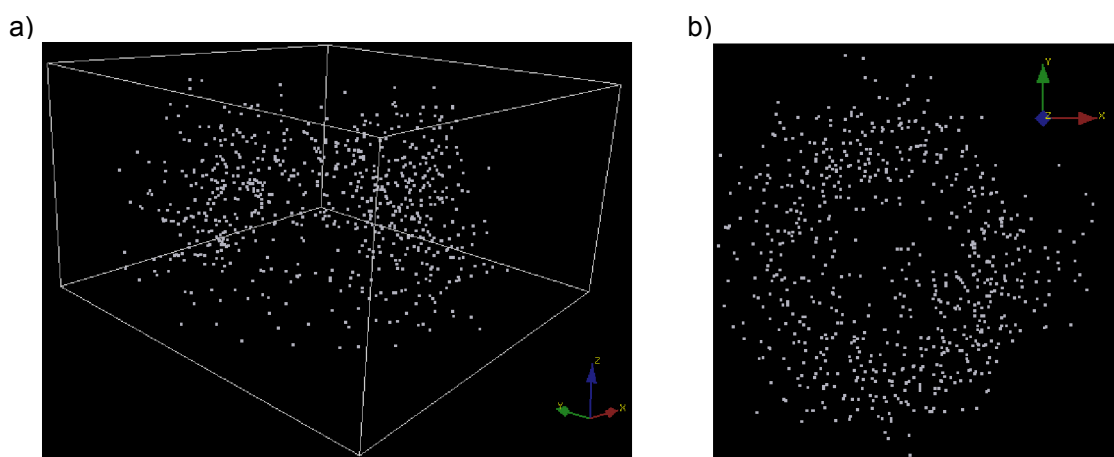
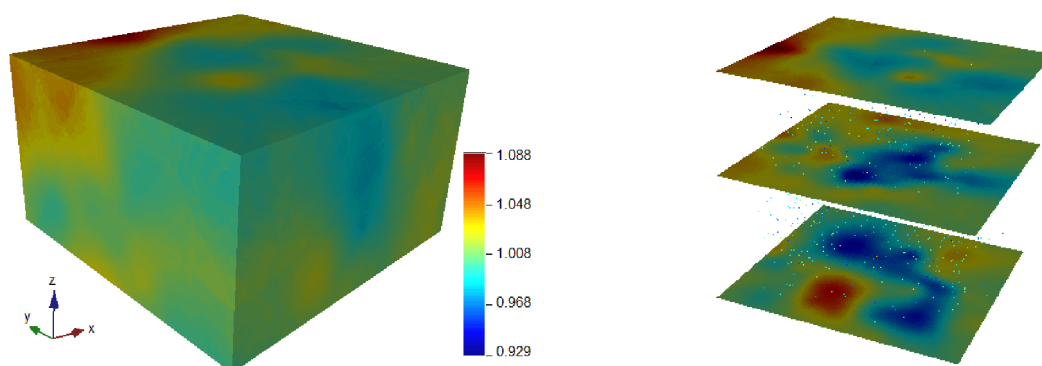


Figura 73 Grid tridimensional com posição de 715 frutos de laranja (a) e respectivo plano bidimensional (b).

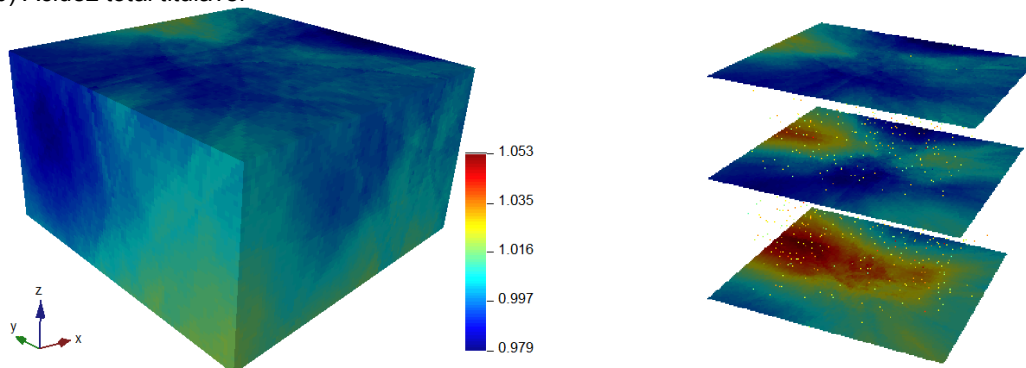
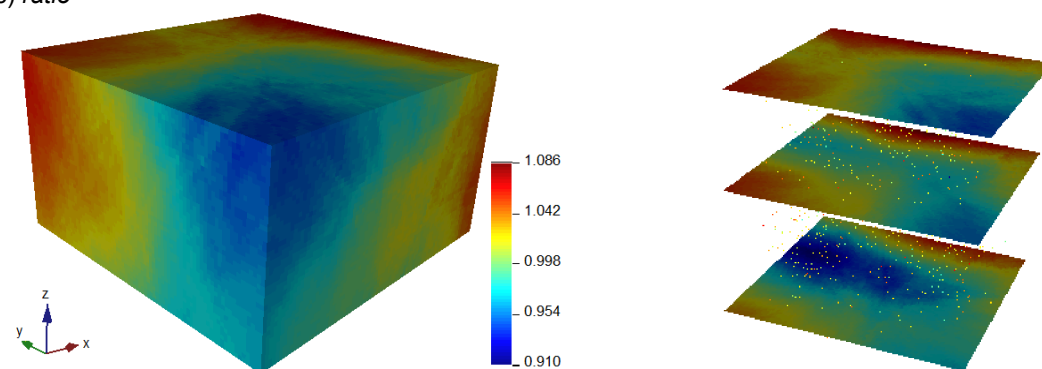
Os mapas tridimensionais e em cortes no eixo z, considerando as nove árvores sobrepostas, estão ilustrados na Figura 74. Quanto ao teor de SST, pela análise do mapa temático, verifica-se que menores valores são encontrados nos terços basal e intermediário, nas regiões central e SO da árvore. Valores acima da média concentram-se na área periférica da árvore em todos os terços com maiores concentrações na região extrema norte no terço apical e região NO no terço basal.

Com relação ao mapa temático tridimensional do teor de ATT, verifica-se que valores acima da média são mais destacados nos terços basal e intermediário na região centro-norte da árvore. Valores abaixo da média são mais destacados nos terços intermediário e apical em toda região da árvore, com exceção da região extrema centro-norte da árvore. O mapa temático do *ratio* ilustra que o comportamento da distribuição espacial apresenta comportamento inverso ao da distribuição espacial do teor de ATT.

a) Sólidos solúveis totais



b) Acidez total titulável

c) *ratio*

d) Ácido ascórbico

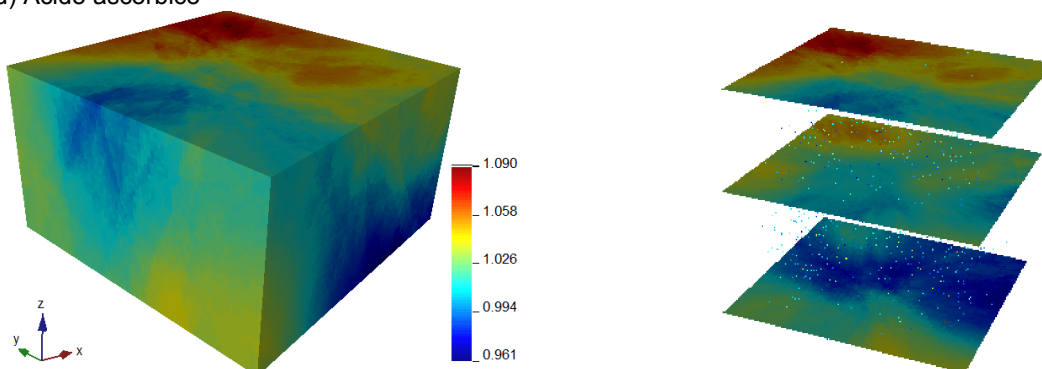


Figura 74 Mapas tridimensionais referentes aos atributos químicos e em cortes no eixo z, considerando nove árvores sobrepostas, em pomar de laranjas, triênio 2011, 2012 e 2013, Nova Laranjeiras, PR.

O mapa temático deste atributo ilustra que, para o teor de AA, no terço apical, maiores valores são encontrados na região leste e menores valores são encontrados na região oeste da árvore. O mesmo comportamento é evidenciado no terço intermediário, mas, no terço basal, o comportamento é contrário, ou seja, valores acima da média estão localizados na região oeste e valores abaixo da média estão localizados na região leste da árvore.

II.6 CONCLUSÕES

- Os atributos químicos dos frutos de laranja apresentaram correlação linear muito fraca e fraca com relação à posição que os mesmos ocupam na árvore.
- Maiores teores de SST são encontrados na área periférica da árvore, provavelmente pela maior incidência de radiação solar.
- Menores teores de ATT são encontrados nos terços intermediário e apical da árvore, ou seja, a ATT tende a diminuir com o aumento da cota do fruto na árvore.
- Maiores valores de *ratio* foram encontrados na região norte das árvores, nos terços apical e intermediário. Sendo o *ratio* um parâmetro de definição do ponto ideal de colheita de citros e considerando a latitude do pomar, conclui-se que a colheita deve ser iniciada por tais regiões.
- Maiores teores de AA foram encontrados no terço apical em relação ao terço basal.
- A metodologia utilizada para a geração dos mapas temáticos tridimensionais mostrou-se adequada ao estudo tridimensional dos atributos químicos de frutos.

II.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGABBIO, M.; LOVICU, G.; PALA, M.; D'HALLEWIN, G.; MURA, M.; SCHIRRA, M. Fruit canopy position effects on quality and storage response of 'Tarocco' oranges. **Acta Horticulturae**, v. 485, p. 19-24, 1999.

AGUSTÍ, M.; ALMELA, V. **Aplicación de fitorreguladores en citricultura**. Barcelona: Aedos Editorial, 1991, 169p.

AGUSTÍ, M.; MARTÍNEZ-FUENTES, A.; MESEJO, C. Citrus fruit quality. Physiological basis and techniques of improvement. **Agrociência**, v. 4, n. 2, p. 1-16, 2002.

ALBRIGO, G. Climatic influences on seasonal variation of Florida orange pounds solids. **Proceedings International Society Horticulturae Science**, Geneva, v. 2, p. 15-18, 1990.

ALBRIGO, G. Influências ambientais no desenvolvimento dos frutos cítricos. In: DONADIO, L. C. (Ed.). **Seminário internacional de citros: Fisiologia**, 2, Bebedouro: Fundação Cargill, 1992. p.100-106.

ALVES, A. P. F.; SANTOS, J. V.; NUNES, L. B. ; SEREIA, M. J. Estabilidade do ácido ascórbico em suco de laranja (*Citrus sinensis*) in natura, em suco refrigerado e em preparados quentes. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 2, p. 14-21, 2008.

ANDRADE, R. S. G.; DINIZ, M. C. T.; NEVES, E. A. Determinação e distribuição de ácido ascórbico em três frutos tropicais. **Eclética Química**, Araraquara, v. 27, p. 393-401, 2002.

ARAÚJO, P. S. R.; MOURÃO FILHO, F. A. A.; SPOSITO, M. B. Pegamento de frutos de laranjeira 'Pera' em diferentes alturas na copa relacionado aos quadrantes geográficos. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.56, n.1, p. 157-162, 1999.

ARMINDO, R. A.; COELHO, R. D.; TEIXEIRA, M. B. Avaliação da variabilidade espacial de macro e micronutrientes em pomar de citros manejado com irrigação localizada. In: CONBAP 2008, Piracicaba-SP. **Anais...Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão - CONBAP**, 2008.

AZEVEDO, C. L. L. Sistema de Produção de Citros para o Nordeste: Colheita e Pós-colheita. **Sistema de Produção**, Cruz das Almas, v. 16, 2003. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Citros/CitrosNordeste/colheita.htm>> Acesso em: 11 de abril de 2013.

BERNARDI, A. C. de C.; VAZ, C. M. P.; RESENDE, A. V. de; BASSOI, L. H.; ABREU, V. M. N.; LUCHIARI JUNIOR, A.; MACHADO, P. L. O. de A.; REIS FILHO, J. C.; INAMASU, R. Y. Agricultura de precisão no Brasil: adoção, resultados e perspectivas. In: Curso internacional de Agricultura de Precisão, 8.; Expo de Máquinas Precisas, 3, 2008, Córdoba: INTA Manfredi, **Anais...Córdoba**, 2008.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Instrução Normativa nº1, de 7 de Janeiro de 2000. Complementa padrões de identidade e qualidade para o suco de laranja. **Diário Oficial da União da República Federativa do Brasil**, Brasília, 10 de Janeiro de 2000.

CAMARGO, M. P. B.; ORTOLANI, A. A.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; ROSA, J. M. Modelo agrometeorológico de estimativa para cultivar de laranja Valência. **Bragantia**, Campinas, v.58, n.1, p.171-178, 1999.

CEAGESP - COMPANHIA DE ENTREPOSTOS E ARMAZÉNS GERAIS DE SÃO PAULO. **Normas de Classificação de Citros de Mesa**. CEAGESP, São Paulo, 2011, 12 p.

CHITARRA, A. B. Qualidade, colheita e manuseio pós-colheita de frutos do pessegueiro e da ameixeira. **Informe Agropecuário**. Belo Horizonte, v.18, n.189, p.68-74, 1997.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-Colheita de Frutas e Hortaliças: Fisiologia e Manuseio**. Lavras, UFLA, 2005. 785p.

COUTO, M. A. L.; CANNIATTI-BRAZACA, S. G. Quantificação de vitamina C e capacidade antioxidante de variedades cítricas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Campinas, 30 (Supl. 1): 15-19, maio 2010.

CRUZ, M. C. M.; RAMOS, J. D.; OLIVEIRA, D. L.; MARQUES, V. B.; VILLAR, L. Características físico-químicas da tangerina 'Ponkan' submetida ao raleio químico em ralação à disposição na copa. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 1, p. 37-42, 2010.

DELLAMEA, R. B. C.; AMADO, T. J. C.; BELLÉ, G. L.; LONDERO, G. T.; DONDÉ, R. J. Agricultura de precisão voltada à melhoria da fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2007. Gramado-RS. **Anais...**, Gramado-RS, 2007.

DESER - Departamento de Estudos Socioeconômicos Rurais. **A cadeia produtiva da laranja: estudo exploratório**. 2007. Disponível em: <http://www.deser.org.br/search_results.asp?criterio=cadeia+produtiva>. Acesso em 26 abr. 2013.

DETONI, A. M.; HERZOG, N.; OHLAND, T.; KOTZ, T. E. ; CLEMENTE, E. Influência do sol nas características físicas e químicas da tangerina 'Ponkan' cultivada no oeste do Paraná. **Revista Ciência e Agrotecnologia**. v. 33, p. 624-628, 2009.

FACHINELLO, J. C.; NACHTIGAL, J. C.; KERSTEN, E. **Fruticultura: Fundamentos e práticas**. Pelotas, 2008. 176p.

GASPARIN, E.; SOUZA, E. G.; BIER, V. A.; COELHO, S. R. M.; NICOLAU, R. F. Variabilidade espacial tridimensional do teor de sólidos solúveis de frutos de laranja. In: XL Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 2011, Cuiabá MT. **Anais...** Geração de tecnologias inovadoras e o desenvolvimento do cerrado brasileiro, 2011.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Disponível em <<https://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em 14 out. 2011.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Disponível em <<https://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em 17 jul. 2012.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Disponível em <<https://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em 25 jul. 2013.

IAL, INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz - **Métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. São Paulo: 1985. v. 1.

JOHANN, J. A.; SILVA, M. C. A.; URIBE-OPAZO, M. A.; DALPOSSO, G. H. Variabilidade

espacial da rentabilidade, perdas na colheita e produtividade do feijoeiro. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.4, p.700-714, jul./ago. 2010.

KOLLER, O. C.; SCHÄFER, G.; SARTORI, I. A.; SCHWARZ, S.; LIMA, J. G. de. Produção da laranjeira de umbigo 'Monte Parnaso' com anelagem da casca dos ramos e aplicação de fitorreguladores. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.22, p.68-72, 2000. Edição especial.

KOLLER, O. C. **Citricultura: 1. Laranja: Tecnologia de Produção, Pós-Colheita, Industrialização e Comercialização**. Editado por I. Manica. – Porto Alegre: Cinco Continentes, 2006, 396 p.

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

LADANIYA M. S. **Citrus fruit: biology, technology and evaluation**. ISBN: 978-0-12-374130-1 Academic, New York, 2007, 576p.

LEMONS, L. M. C.; SIQUEIRA, D. L.; SALOMÃO, L. C. C.; CECON, P. R. LEMOS, J. P. Características físico-químicas de laranja-pera em função da posição na copa. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal - SP, v. 34, n. 4, p. 1091-1097, 2012.

LOPES, M. V.; OLIVEIRA, C. A. L.; BARRETO, M.; BARBOSA, J. C.; ROSSI, F. M. Dimensionamento de amostras para monitoramento do ácaro da leprose *Brevipalpus phoenicis* (Geijskes, 1939) em citros. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.29, p.671-676, 2007.

MARCHI, R. J. **Modelagem de curvas de maturação da laranja-pera (*Citrus sinensis* L. Osbeck) na região de Bebedouro - SP**. 1993. 107p. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1993.

NEVES, M. F.; LOPES, F. F.; TROMBIN, V. G.; AMARO, A. A.; NEVES, E. M.; JANK, M. S. **Caminhos para a Citricultura**. São Paulo: Ed. Atlas, 1 ed., 2007, 110 p.

NEVES, M. F.; TROMBIN, V. G.; MILAN, P. **An Overview of the Brazilian Citriculture**. IFAMA 2011 Forum & Symposium. Frankfurt. May 22nd 2011. Disponível em: <https://www.ifama.org/events/conferences/2011/cmsdocs/2011SymposiumDocs/284_Symposium%20Paper.pdf>.

NICOLAU, R. F. **Variabilidade espacial da produtividade e das propriedades físicas e químicas de frutos e doenças foliares de laranjeiras**. 2013. 96p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2013.

PEREIRA, M. E. C.; CANTILLANO, F. F.; GUTIERREZ, A. S. D.; ALMEIDA, G. V. B. **Procedimentos pós-colheita na produção integrada de citros**. Brasília: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, março de 2006.

PIMENTEL GOMES, F.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309p.

POZZAN, M.; TRIBONI, H. R. **Colheita e qualidade do fruto**. In: MATTOS JUNIOR, D.; DE NEGRI, J. D.; PIO, R. M.; POMPEU JUNIOR, J. Ed. Citros. Cordeirópolis, 2005.cap. 26, p. 801-824.

REIS, B.; KOLLER, O. C.; SCHWARZ, S. F.; THEISEN, S.; SARTORI, I. A.; NICHELE, F. S.; LORSCHETER, Rafael; PETRY, H. B. Produção de frutos e incidência de cancro cítrico em laranjeiras 'Monte Parnaso' enxertadas sobre sete portas-enxerto. **Ciência Rural**, v.38, n.3, p. 672-678, 2008.

SDIRI, S.; NAVARRO, P.; MONTERDE, A.; BENABDA, J.; SALVADOR, A. Effect of postharvest degreening followed by a cold-quarantine treatment on vitamin C, phenolic compounds and antioxidant activity of early-season citrus fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 65, p. 13-21, 2012.

SAUNT, J. **Variedades de citrinos del mundo: Valência**. Sinclair Internacional, 1992. 128p.

SENNA, A. J. T.; PEDROZO, E. Á.; KOLLER, O. C. Identificação e análise da cadeia de distribuição das frutas cítricas de mesa sem sementes: um estudo de caso na cidade de São Paulo. **Revista Brasileira de Fruticultura**. Jaboticabal, v. 29, n. 3, 2007.

SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia dos citros**. In: MATTOS JUNIOR, D.; NEGRI, J. D.; PIO, R. M.; POMPEU JUNIOR, J. Ed. Citros. Instituto Agronômico e Fundag Campinas, 2005, p. 317-344.

SIQUEIRA, D. S.; MARQUES JR. J.; PEREIRA, G. T. The use of landforms to predict the variability of soil and orange attributes. **Geoderma**, Amsterdam, v.156, p.55-66, 2010.

SIMÃO, S. **Tratado de fruticultura**. Piracicaba. FEALQ. 1998. 760p.

SINCLAIR, W. B. **The biochemistry and physiology of the lemon and other citrus fruits**. Riverside: Univ. of California, 1984. 469 p.

SITES, J. W.; REITZ, H. J. The variation in individual Valencia oranges from locations of the tree as a guide to sampling methods and spot-picking for quality. I. Soluble solids in the juice. In: **Proceedings American Society Horticultural Science**. v. 54, p. 1-10, 1949.

SITES, J. W.; REITZ, H. J. The variation in individual Valencia oranges from locations of the tree as a guide to sampling methods and spot-picking for quality. III. Vitamin C and juice content of the fruit. In: **Proceedings American Society Horticultural Science**. v. 56, p. 103-110, 1950.

STUCHI, E. S.; GIRARDI, E. A.; SILVA, S. R.; SOUZA, P. S.; SEMPIONATO, O. R.; REIFF, E. T. **Comparação de Laranjeiras de Umbigo**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento/EMPRAPIA Mandioca e Fruticultura. Cruz das Almas, 2010, 23p.

SUSZEK, G. **Variabilidade espacial e temporal das propriedades químicas do solo e das folhas, qualidade do fruto e produtividade em pomar de laranja Monte Parnaso**. Cascavel, PR: Tese de doutorado, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2011, 122p.

SWINDELL, J. **Mapping the spatial variability in the yield potential of arable land through GIS analysis of sequential yield maps**. In: 1st European Conference on Precision Agriculture. BIOS Scientific.p.827-834. Warwick - UK. 1997.

TONIETTO, S. M.; TONIETTO, A. Floração da variedade Tobias (*Citrus sinensis* Osbeck.) sobre três porta-enxerto no Vale do Taquari - RS. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.27, n.1, p.14-16, abr. 2005.

TOPUZ, A.; TOPAKCI, M.; CANAKCI, M.; AKINCI, I.; OZDEMIR, F. Physical and nutritional properties of four orange varieties. **Journal of Food Engineering**. v. 66, n. 4, p. 519-523, 2005.

TRIBONI, H. R.; BARBOSA, J. C. Estimativa do número de frutos em pomares de laranja. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 26, n. 3, p. 454-458, 2004.

TUBÉLIS, A. Clima: fator que afeta a produção e qualidade da laranja. **Laranja**, Cordeirópolis, v. 16, n. 2, p.179-211, 1995.

VIÉGAS, F. C. P. A industrialização dos produtos cítricos. In: RODRIGUEZ, O.; VIÉGAS, F.; POMPEU JÚNIOR, J.; AMARO, A. A. (Ed.). **Citricultura Brasileira**. 2 ed. Campinas: Fundação Cargill, v.2, p.898-922, 1991.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho de pesquisa, a utilização de um software, inicialmente desenvolvido para estudos geológicos, mostrou-se eficiente no estudo da variabilidade espacial tridimensional de atributos físicos e químicos em frutos de laranja. Os resultados foram satisfatórios, apesar dos mapas tridimensionais não reproduzirem exatamente o corpo em estudo, no caso a árvore de laranjeira, pois o software trabalha com grade em forma de blocos.

O estudo no interior da árvore revelou algumas tendências de concentração de valores dos atributos químicos e físicos e a relação existente entre os frutos e suas respectivas posições no interior da copa da árvore. Alguns dos principais resultados podem ser destacados:

- Os atributos físicos e químicos dos frutos de laranja apresentaram fraca correlação com a posição que os mesmos ocupam na árvore;
- Os valores de diâmetro, massa do fruto e massa do suco tenderam a aumentar conforme o aumento da altura (cota) do fruto na árvore;
- Maiores valores de *ratio* foram encontrados na região norte das árvores, nos terços apical e intermediário. Considerando a latitude do pomar, recomenda-se que a colheita deva ser iniciada por tais regiões;
- Maiores teores de AA foram encontrados no terço apical em relação ao terço basal;
- O padrão de variabilidade espacial dos atributos não seguiu padrões semelhantes de árvore para árvore;
- A metodologia utilizada para a geração dos mapas temáticos tridimensionais mostrou-se adequada ao estudo tridimensional dos atributos químicos de frutos.

Para trabalhos futuros nesta linha de pesquisa, sugere-se a possibilidade de que se estudem todos os frutos da árvore bem como se estime a radiação solar recebida por cada fruto.