

2015

Velocidade do pulverizador na variabilidade espacial dos movimentos da barra de aplicação e deposição de calda

Gimenes, Gustavo Rodrigues

Universidade Estadual do Norte do Paraná

GIMENES, Gustavo Rodrigues. Velocidade do pulverizador na variabilidade espacial dos movimentos da barra de aplicação e deposição de calda. Orientador: Rone Batista de Oliveira. 2015. 38 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Campus Luiz Meneghel, Universidade Estadual do Norte do Paraná, Bandeirantes, 2015.

<https://repositorio.uenp.edu.br/handle/123456789/290>

Baixado de Repositório Institucional UENP



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE DO PARANÁ
CAMPUS LUIZ MENEGHEL
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

GUSTAVO RODRIGUES GIMENES

**VELOCIDADE DO PULVERIZADOR NA VARIABILIDADE ESPACIAL
DOS MOVIMENTOS DA BARRA DE APLICAÇÃO E DEPOSIÇÃO DE
CALDA**

BANDEIRANTES - PR, BRASIL

2015

GUSTAVO RODRIGUES GIMENES

**VELOCIDADE DO PULVERIZADOR NA VARIABILIDADE ESPACIAL
DOS MOVIMENTOS DA BARRA DE APLICAÇÃO E DEPOSIÇÃO DE
CALDA**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado
em Agronomia, da Universidade Estadual do Norte
do Paraná, *Campus* Luiz Meneghel.

Orientador: Prof. Dr. Rone Batista de Oliveira

BANDEIRANTES - PR, BRASIL

2015

Catálogo na publicação elaborada pela Biblioteca Central do Campus Luiz Meneghel da Universidade Estadual do Norte do Paraná.

Gimenes, Gustavo Rodrigues

G491v Velocidade do pulverizador na variabilidade espacial dos movimentos da barra de aplicação e deposição de calda / Gustavo Rodrigues Gimenes. – Bandeirantes, 2015.

52f. ilust.

Orientador: Prof. Dr. Rone Batista de Oliveira.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual do Norte do Paraná, *Campus* Luiz Meneghel, 2015.

Banca: Dr. Rone Batista de Oliveira, Dr. Otávio Jorge Grigoli Abi-Saab, Dr. Luis Carlos Reis, Dr. Marco Antonio Gandolfo, Dr^a. Teresinha Esteves da Silveira Reis.

1. Variabilidade espacial. 2. Velocidade de deslocamento. 3. Altitude. 4. Qualidade da aplicação. I. Universidade Estadual do Norte do Paraná. III. Título.

CDD - 631.3

GUSTAVO RODRIGUES GIMENES

**VELOCIDADE DO PULVERIZADOR NA VARIABILIDADE ESPACIAL
DOS MOVIMENTOS DA BARRA DE APLICAÇÃO E DEPOSIÇÃO DE
CALDA**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado
em Agronomia, da Universidade Estadual do Norte
do Paraná, *Campus* Luiz Meneghel.

Aprovado em: / /2015

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Rone Batista de Oliveira	UENP
Prof. Dr. Otávio Jorge Grigoli Abi-Saab	UEL
Prof. Dr. Luis Carlos Reis	UENP
Prof. Dr. Marco Antonio Gandolfo	UENP
Prof. Dr. Teresinha Esteves da Silveira Reis	UENP

Prof. Dr. Rone Batista de Oliveira
Orientador
Universidade Estadual do Norte do Paraná,
Campus Luiz Meneghel

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente a Deus e aos meus pais, que acreditaram em mim e superaram a distância e a saudade.

À minha noiva Luana, pelo apoio, força e incentivo, companheirismo e carinho.

Aos meus amigos de curso que sofreram junto comigo cada etapa da pós-graduação.

Aos professores da unidade, que passam seu conhecimento adiante, nos ensinando e muitas vezes nos acolhendo como filhos.

Ao professor Dr. Rone Batista de Oliveira, que mais do que um professor e um orientador, foi um amigo que se mostrou presente em todas as dificuldades, arrumando tempo para atender as minhas dúvidas, me acolheu no momento de maior questionamento sobre o meu ingresso no curso e me deu a honra de ter sido seu primeiro orientado, muito obrigado!

AGRADECIMENTOS

Agradeço este trabalho imensamente ao meu orientador, o Professor Dr. Rone Batista de Oliveira pela convivência diária, orientações, ensinamentos e paciência.

Agradeço ao Professor Dr. Marco Antonio Gandolfo pelo acolhimento em seu núcleo de pesquisa, orientações, ensinamentos e pelas horas de rock clássico.

Agradeço a professora Dr^a. Alessandra Fagioli da Silva, pela paciência, convivência, disponibilidade, orientações e contribuições para a elaboração deste trabalho.

Agradeço aos Professores Doutores Luis Carlos Reis e Teresinha Esteves da Silveira Reis pelas orientações, críticas e contribuições neste trabalho.

Agradeço aos membros do Núcleo de Investigação em Tecnologia de Aplicação de Agrotóxicos e Máquinas Agrícolas (NITEC) que tiveram papel fundamental na elaboração deste trabalho, pelas horas de convivência, ensinamentos, trabalhos e confraternizações.

Agradeço aos funcionários da UENP – *Campus* Luiz Meneghel, que sempre foram prestativos e cordiais no atendimento.

Agradeço aos amigos que participaram direta e indiretamente para a conclusão deste trabalho, em especial aos moradores da república Lagarto Tiú, pela moradia e confraternizações.

Agradeço a CAPES e a Fundação Araucária pela concessão de bolsas para o programa de mestrado em Agronomia da UENP – *Campus* Luiz Meneghel.

Epígrafe

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê.”

Arthur Schopenhauer (1788 – 1860)

GIMENES, G. R. **Velocidade do pulverizador na variabilidade espacial dos movimentos da barra de aplicação e deposição de calda**. 2015. 50f. Dissertação de Mestrado em Agronomia – Universidade Estadual do Norte do Paraná, *Campus Luiz Meneghel, Bandeirantes*, 2015.

RESUMO

Parâmetros operacionais, como a velocidade de deslocamento do conjunto trator/pulverizador e características físicas da área, como irregularidades do relevo podem influenciar na oscilação da barra do pulverizador e na deposição da calda, afetando a qualidade da aplicação. Nesse estudo, foi avaliado a variabilidade espacial do relevo, dos movimentos verticais da barra de um pulverizador operando em duas velocidades de deslocamento e o efeito na variabilidade espacial da deposição da calda. A altitude para construção do modelo numérico do terreno (MNT) foi obtida por estação total e a movimentação da barra foi avaliada através de videografia digital. Para a determinação da deposição da calda foi adicionado o marcador azul brilhante FDC-1 (0,6%, $m\ v^{-1}$) no tanque de pulverização e a sua absorvância detectada por espectrofotometria. Técnicas de estatística descritiva, análise espacial (geoestatística) e geoprocessamento foram aplicadas para a análise dos dados. Os resultados indicam a existência de dependência espacial na deposição da calda nas duas velocidades ($1,725\ m\ s^{-1}$ e $2,736\ m\ s^{-1}$) e aumento de deposição de calda na maior velocidade, tendo a altitude não influenciado na deposição em ambas as velocidades.

Palavras-chave: Variabilidade espacial; velocidade de deslocamento; altitude; qualidade da aplicação.

GIMENES, G. R. **Sprayer speed in spatial variability of movements of application bar and deposition of syrup.** 2015. 50s. Dissertação de Mestrado em Agronomia – Universidade Estadual do Norte do Paraná, *Campus Luiz Meneghel*, Bandeirantes, 2015.

ABSTRACT

Operational parameters, such as the speed of offset the tractor/sprayer and physical characteristics of the area, such as relief irregularities may influence the oscillation of the sprayer bar and liquid deposition, affecting the quality of the application. In this study, the spatial variability was evaluated of the relief, the vertical movements of bar of a sprayer operating in two speeds of displacement and the effect on spatial variability of liquid deposition. The altimetry for construction of numerical model of the terrain (MNT) was obtained by total station and the movement of the bar was evaluated through digital videography. For the determination of the deposition of the syrup was added the bright blue marker FDC-1 (0.6%, $m v^{-1}$) in the spray tank and their absorbance detected spectrophotometrically. Descriptive statistical techniques, spatial analysis (geostatistics) and GIS were used for data analysis. The results indicate the existence of spatial dependence on landfill of a speed to another ($6.21 m s^{-1}$ and $2,736 m s^{-1}$) and increased liquid deposition on higher speed, having the altimetry not influenced in deposition in both velocities.

Key-words: Spatial variability; displacement speed; altimetry; quality of the application.

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1. Estatística descritiva da deposição, oscilação e altitude para as duas velocidades de deslocamento do pulverizador**22**

Tabela 3.2. Modelos e parâmetros dos variogramas da oscilação, deposição e altitude para as duas velocidades de deslocamento do pulverizador**25**

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1. Município de Itambaracá-PR (A), imagem orbital da área de estudo e delimitação da área total e poligonal da área dos ensaios (B) e visão panorâmica (C)	12
Figura 3.2. Altitude obtida por estação total, distribuição dos pontos e curvas de nível.....	13
Figura 3.3. Distribuição dos pontos de coleta de deposição de calda	14
Figura 3.4. Conjunto Trator/Pulverizador (A850/AD18) e ponta de pulverização (AD-IA 110 02).....	14
Figura 3.5. Representação teórica do delineamento no campo com a alocação das lâminas de vidro	15
Figura 3.6. Lâminas acomodadas em potes plásticos com tampa	16
Figura 3.7. Lavagem com 40 mL de água destilada e leitura no espectrofotômetro	16
Figura 3.8. Alvo (referência de papel) fixado na extremidade da barra do pulverizador	17
Figura 3.9. Posição em pixels do ponto de referência da barra no software Microsoft Paint®	19
Figura 3.10. Oscilação vertical da barra de pulverização (m) e depósito de marcador (μL) em lâminas de vidro e em função das velocidades de deslocamento do pulverizador.....	23
Figura 3.11. Comportamento da barra do pulverizador considerando os movimentos verticais ao longo do tempo para a velocidade de $1,725 \text{ m s}^{-1}$ e $2,736 \text{ m s}^{-1}$	23
Figura 3.12. Valores de deposição ($\mu\text{L cm}^{-2}$) em relação à altitude da área para as velocidades de $1,725$ e $2,736 \text{ m s}^{-1}$	24
Figura 3.13. Variogramas teóricos e experimentais da deposição ($\mu\text{L cm}^{-2}$), oscilação vertical da barra para as velocidades de $1,725 \text{ m s}^{-1}$ e $2,736 \text{ m s}^{-1}$ e da altitude	26
Figura 3.14. Mapas de distribuição espacial da oscilação e deposição para a velocidade de $1,725 \text{ m s}^{-1}$ pelo interpolador krigagem	28

Figura 3.15. Mapas de distribuição espacial da oscilação e deposição para a velocidade de $2,736 \text{ m s}^{-1}$ pelo interpolador krigagem**29**

Figura 3.16. Mapa de distribuição espacial da altitude pelo interpolador krigagem..**30**

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 MOVIMENTOS DE BARRA DE PULVERIZAÇÃO E IMPACTO NA DEPOSIÇÃO DE AGROQUÍMICO	3
2.2 MODELO NUMÉRICO DO TERRENO.....	5
2.3 GEOESTATÍSTICA E AGRICULTURA DE PRECISÃO.....	7
2.4 GEOPROCESSAMENTO, SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA E MAPEAMENTO.....	9
3 VELOCIDADE E MOVIMENTOS DA BARRA DE UM PULVERIZADOR NA VARIABILIDADE ESPACIAL DA DEPOSIÇÃO DE CALDA	11
3.1 MATERIAIS E MÉTODOS.....	11
3.2. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	21
3.2.1 ANÁLISE EXPLORATÓRIA E DESCRITIVA.....	21
3.2.2 ANÁLISE ESPACIAL.....	24
CONCLUSÕES GERAIS	32
REFERÊNCIAS.....	32

1. INTRODUÇÃO

Na agricultura brasileira, as áreas agrícolas sempre foram consideradas homogêneas, sendo aplicada a necessidade média de utilização de insumos promovendo o uso de doses iguais de agroquímicos, desconsiderando a variabilidade espacial e temporal das características presentes na área. Essa homogeneização do espaço pode acarretar em sobre dose de agroquímicos em uma gleba fértil e não atingir níveis desejáveis de dosagem em outras deficientes.

O desbalanço no uso de agroquímicos compromete a capacidade das lavouras, tornando alto o custo de produção. Essa condição pode promover ineficiência da aplicação, gerando menor controle de uma área e ocasionar maior desperdício e contaminação ambiental em outra área.

A variabilidade espacial e temporal dos fenômenos intrínsecos e extrínsecos que ocorrem na natureza pode ser mensurada e registrada. Os buffers ou arquivos contendo tais informações podem ser apresentados na forma de produtos cartográficos que podem conter zonas de segurança para aplicação de agroquímicos, declividade operacional de colhedoras agrícolas, zonas especiais de manejo, entre outros, sendo utilizados para otimizar as ações em cada ponto, aumentando a produtividade e diminuindo os problemas ambientais.

Dentre as dificuldades encontradas em uma aplicação, deve-se atentar para a irregularidade do terreno que ocasiona grandes perdas nas pulverizações agrícolas pela oscilação da barra do pulverizador. Essas irregularidades proporcionadas pelas características regionais do local, bem como as irregularidades que surgem com as contínuas produções agrícolas e terraceamentos, caracterizam uma superfície desuniforme e até mesmo extremamente desuniforme, dificultando a aplicação em área total em função da excessiva movimentação das barras do pulverizador.

A oscilação da barra do pulverizador pode aumentar ou diminuir com diferentes velocidades. Esse movimento ocasiona problemas de desperdício e uniformidade de deposição da calda de pulverização.

Aspectos geográficos em uma superfície, como a irregularidade do terreno ou qualquer outra variável espacial, tem na análise espacial, sobretudo na

interpolação espacial, as técnicas para gerar variáveis perdidas ou escondidas no espaço geográfico, as quais podem ser mapeadas e visualizadas, gerando um detalhado registro da acurácia da interpolação ao longo do espaço. Para que essa análise tenha sucesso, a utilização de técnicas avançadas somadas a interpretação e obtenção da maior quantidade de informações possíveis sobre o local ou objeto de estudo são necessárias.

Este trabalho tem como objetivo de analisar a variabilidade espacial do relevo, dos movimentos verticais da barra de um pulverizador operando em duas velocidades de deslocamento e o efeito na variabilidade espacial da deposição da calda.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. MOVIMENTOS DA BARRA DO PULVERIZADOR E IMPACTO NA DEPOSIÇÃO DE AGROQUÍMICOS

Tecnologia consiste na aplicação dos conhecimentos científicos a um determinado processo produtivo. Portanto, entende-se por tecnologia de aplicação de agroquímicos o emprego de todos os conhecimentos científicos que proporcionem a correta colocação do produto biologicamente ativo no alvo, em quantidade necessária, de forma econômica e com o mínimo de contaminação de outras áreas (MATUO, 1998).

Os fatores que mais se tem pesquisado, com o intuito de melhorar as aplicações, são as taxas de aplicação, adjuvantes de calda, pontas de pulverização, cobertura e deposição do alvo, equipamentos para pulverização, entre outros, que juntos e corretamente utilizados, constituem o conceito de tecnologia de aplicação. Segundo Cunha et al. (2011), a tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários possibilita maximizar a produtividade das culturas quando empregada de maneira correta.

Estudos sobre a influência dos movimentos da barra do pulverizador ocasionados pelas irregularidades do relevo e alterações da velocidade operacional na distribuição e deposição da calda são variados (SPEELMAN e JANSEN, 1974; MAHALINGA e WILLS, 1978; IYER e WILLS, 1978; WILLS e COMBELLACK, 1984; SARTORI, 1985; PORSKAMP e VAN ZUYDAM, 1992).

O movimento da barra de um pulverizador é avaliado nos termos do movimento vertical da barra em relação ao solo e do movimento horizontal da barra em relação ao trator (MAHALINGA e WILLS, 1978).

A uniformidade na distribuição transversal da calda aplicada é condicionada pela altura da barra, espaçamento entre bicos, ângulo de abertura dos bicos e pressão de trabalho, entre outros (BARCELLOS, 2006). As oscilações verticais da barra, causadas por irregularidades no terreno, alteram a distância entre cada bico e o alvo e distorcem a distribuição. Além disso, quando excessivas, fazem

com que as pontas da barra toquem o solo, causando eventuais danos (PONTELLI e MUCHERONI, 2009).

Os movimentos da barra de um pulverizador causados por alterações da velocidade resultam em variações na aplicação do líquido na direção de deslocamento do pulverizador (KENNES et al., 1999).

Ao investigar a velocidade de deslocamento do equipamento na uniformidade da aplicação da calda em condições de campo, constatou-se que houve variação da distribuição do líquido (Coeficiente de Variação) de 5% a 17% para condições da barra estática e de 6% a 37% para barras em movimento, com velocidades de 6 a 26 km h⁻¹, respectivamente (WOMAC et al. 2001).

Langenakens et al. (1999) estudaram o efeito dos movimentos verticais da barra de um pulverizador na aplicação do líquido. O efeito da translação foi baixo, enquanto movimentos horizontais e deformações verticais tiveram grandes influências na distribuição da pulverização, especialmente nas extremidades da barra onde a amplitude é mais importante. A deposição máxima encontrada foi de 760% e a mínima de 0% no caso de maior movimentação da barra.

A avaliação dos movimentos das barras de um pulverizador, operando em condições de cultivo mínimo florestal, pode ser realizada por videografia digital, sendo as imagens analisadas em softwares específicos para o cálculo dos valores dos movimentos horizontais e verticais das barras (QUEIROZ, 2001). Benez (2012) analisou a influência dos movimentos verticais e horizontais da barra de um pulverizador na aplicação da calda pela mesma metodologia de Queiroz (2001) e constatou que a movimentação da barra influenciou na variabilidade de deposição da calda nos coletores.

A avaliação de deposição é utilizada nas pesquisas de tecnologia de aplicação como instrumento para desenvolver e melhorar as técnicas de aplicação de defensivos (PALLADINI, 2000). Essa avaliação pode ser realizada pelo estudo da deposição de gotas sobre superfícies alvo, que podem ser naturais ou artificiais (CARBONARI et al., 2005).

Pela sua viabilidade econômica e durabilidade, os corantes alimentícios têm sido utilizados como marcadores para a quantificação do depósito nas pulverizações de produtos fitossanitários (PALLADINI, 2000).

O corante alimentício Azul Brilhante, catalogado internacionalmente pela empresa “Food, Drug & Cosmetic” (FD&C), como FD&C Blue n.1, apresenta características desejáveis para um marcador, como ser sensível à detecção, estável, atóxico, de baixo custo para compra e para detecção em espectrofotômetro, com análise quantitativa rápida e ter efeitos físicos mínimos na pulverização. A degradação do corante Azul Brilhante quando exposto à luz solar, foi avaliada por meio da degradação da calda (acondicionada em tubos de quartzo), degradação em alvos artificiais (placas de Petri destampadas) e em alvos naturais (folhas de *Eichhornia crassipes*). Não houve degradação do corante nos tubos de quartzo ou nas placas de Petri por um período de até 10 h, tempo máximo de avaliação. Nos alvos naturais houve degradação do corante após 6 horas de exposição da aplicação das gotas sobre as folhas (MARCHI et al., 2005).

Aplicada uma quantidade conhecida do corante Azul Brilhante em plantas de feijão (*Phaseolus vulgaris*) e em lâminas de vidro, com extração do corante dos alvos após 20 minutos e leitura em espectrofotômetro, foram obtidos coeficientes de extração de 93% para as plantas de feijão e 100% para as lâminas de vidro (REZENDE, 2011). O mesmo autor constatou que a lâmina de vidro foi o melhor alvo para a captura de pulverizações, quando comparado com alvos naturais.

Benez (2012) utilizou corante Azul Brilhante FDC-1, diluído em água a 0,3%, para avaliar a influência das oscilações das barras do pulverizador na deposição da calda em alvos artificiais. Tal produto demonstrou-se eficaz para análise em espectrofotômetro, permitindo ao autor identificar correlação positiva entre os fatores de oscilação da barra e deposição.

2.2. MODELO NUMÉRICO DO TERRENO

A topografia influencia nas características do solo, padrões de fluxo de água, sedimentos e transporte de contaminantes, o comportamento hidrológico, os métodos de irrigação e, conseqüentemente, afeta o rendimento das culturas, a qualidade do solo e da água e os processos de mecanização no campo (KARKEE et al., 2008).

Um modelo numérico de terreno (MNT) é uma representação matemática da distribuição espacial de uma determinada característica vinculada a uma superfície real (ARAÚJO et al., 2008). No processo de elaboração de um MNT além da amostragem e da confecção de grades, também existem os produtos, sendo alguns deles: as imagens, a declividade, o fatiamento, isolinhas, 3D, perfil e volume (FRANCISCO, 2010).

O uso de ferramentas, como o MNT (SMITH et al., 2006; CHAGAS et al., 2010), geoestatística (CAMPOS et al., 2009) e de análises multivariadas (SIQUEIRA et al., 2010; MARTÍN et al., 2010), são cada vez mais comuns em ciências agrárias e auxiliam na identificação dessas áreas. Os referidos métodos de análises promovem uma visão espacial e integrada de todos os atributos ambientais, permitindo uma substituição da subjetividade dos métodos de mapeamentos convencionais para mapeamentos mais objetivos e com métodos quantitativos. A medição manual da declividade sobre mapas com curvas de nível é um trabalho cansativo e susceptível a erros (VALERIANO, 2003).

Novas metodologias de obtenção de modelos numéricos do terreno e imagens de declividade se difundiram nos últimos anos. Essas metodologias surgem como alternativa aos métodos tradicionais, no entanto, deve-se atentar as informações das técnicas empregadas, visando atender as especificidades exigidas em trabalhos com esse propósito. O MNT é uma ferramenta útil no mapeamento de solo e sua distribuição em relação à paisagem destaca-se em pesquisas sobre mapeamento, tornando-o mais acurado. Não dispensando, no entanto, o apoio de campo (SOUSA JÚNIOR e DEMATTÊ, 2008).

Novos softwares topográficos processam arquivos em tempo recorde, fornecendo entre outras informações de altitude e mapas clinográficos, obtidos após modelagem numérica do terreno. O MNT é utilizado para denotar a representação quantitativa de uma grandeza que varia continuamente no espaço, modelando informações relativas às propriedades do solo, como altitude (CÂMARA e MEDEIROS, 1998).

Os dados de um modelo numérico de terreno são representados pelas coordenadas x , y e z , sendo z , o parâmetro a ser modelado, é função de x e y . Estes dados são usualmente amostrados segundo uma distribuição irregular no

plano x e y, ou ao longo de linhas com mesmo valor de z. As amostras podem ser pontos cotados ou isolinhas (VIVIANI e MANZATO, 2005).

A interpolação de valores conhecidos de coordenada Z (altitude) resulta no MNT. Para a realização dessa interpolação, são necessários cálculos geoestatísticos, visto que a altitude varia de um local para outro com algum grau de organização ou continuidade, expresso através da dependência espacial entre os pontos (GOMES, 2009).

2.3. GEOSTATÍSTICA E AGRICULTURA DE PRECISÃO

A ferramenta de análise geoestatística se constitui na maneira mais correta que se tem conhecimento para analisar a variabilidade espacial (VIEIRA, 2000). Há necessidade absoluta de conhecimento adequado da variabilidade espacial das características do ambiente agrícola, sem o qual existe o risco de aplicações inapropriadas dos resultados. Entre as aplicações da geoestatística voltadas para prover informações em suporte da agricultura estão à caracterização e a modelagem espacial e temporal, das quais resulta a produção de mapas precisos para bases de informação da área de produção (McBRATNEY et al., 2005).

Um conceito chave na compreensão e análise dos fenômenos espaciais ou tudo o que se observa na natureza é a dependência espacial. Segundo Cressie (1993), a dependência está presente em todas as direções e fica mais fraca à medida que aumenta a dispersão na localização dos dados.

A geoestatística é uma ferramenta estatística utilizada para estudar a variabilidade espacial e possibilita a interpretação dos resultados com base na estrutura da variabilidade natural dos atributos avaliados, considerando a dependência espacial dentro do intervalo de amostragem (MACHADO et al., 2007). O estudo da variabilidade espacial pode ser feito em grandes áreas (BERG e KLAMT, 1997; COUTO et al., 2000, MACHADO et al., 2007; MIGUEL, 2010; ZONTA et. Al, 2014), e em áreas menores (ALBUQUERQUE et al., 1996; BERTOLANI e VIEIRA, 1997; SOUZA et al., 1998; OLIVEIRA et al., 1999; MONTEZANO et. al, 2006; GUEDES FILHO, 2009).

O objetivo da geoestatística aplicada à agricultura de precisão é pesquisar a variabilidade espacial dos atributos do solo e das plantas e fazer estimativa, utilizando o princípio da variabilidade espacial, identificando inter-relações destes atributos no espaço, além de permitir estudar padrões de amostragem adequada (VIEIRA, 2000).

Para o mapeamento da variabilidade espacial de um determinado atributo é necessário ter um banco de dados que apresente o valor e a localização do atributo. Esse banco de dados é normalmente obtido em uma amostragem não regular de pontos dentro da área avaliada e é denominado de dados brutos. Embora não seja necessária à coleta de pontos com espaçamento regular, é fundamental ter maior número de pontos onde ocorre a maior variação do fenômeno a ser modelado e pontos distribuídos por toda a região a ser modelada (BARBOSA et al., 2012).

Assim, para obter uma grade regular de pontos é necessário o uso de interpoladores para estimar pontos em locais que não foram amostrados. Os mais usados para mapeamento da variabilidade espacial em agricultura de precisão são: vizinho mais próximo, média local, inverso da distância e krigagem (VARELLA, 2009). A construção de mapas com os valores obtidos por krigagem são importantes para a verificação e interpretação da variabilidade espacial. A análise dos dados torna-se completa com as informações apresentadas nos mapas, os quais são úteis na tomada de decisões (CARVALHO et al., 2010).

A pesquisa agrônômica tem constantemente lançado mão de ferramentas da estatística clássica para testar diferenças entre tratamentos. Porém, quando se depara com uma situação onde a variabilidade da variável estudada é muito grande, esta é encarada como uma dificuldade e, normalmente, muitos dados deixam de ser analisados e publicados, por considerá-la um erro, ou resíduo, fruto de fatores não controlados e ao acaso (REICHARDT et al., 1986). Quando é verificado que a componente residual da variância é relativamente grande, o que normalmente é indicado por um alto valor de coeficiente de variação, o experimento fica prejudicado, sendo que a causa pode ser a variabilidade do solo, assumido como homogêneo no início, ao se estabelecer o experimento (MATA, 1997).

Se a distribuição espacial da amostra for observada e levada em consideração, em muitos casos será possível tirar vantagem da variabilidade espacial. É oportuna a observação de Reichardt et al. (1986) de que a estatística

clássica e a geoestatística se completam. Uma não exclui a outra, e perguntas não respondidas por uma muitas vezes podem ser respondidas pela outra. De acordo com Vieira (2000), são justamente nos problemas onde a estatística clássica tem limitações que a geoestatística tem suas maiores aplicações.

2.4. GEOPROCESSAMENTO, SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA E MAPEAMENTO

Compreender a distribuição de dados oriundos de fenômenos ocorridos no espaço constitui um grande desafio para elucidação de questões centrais em diversas áreas do conhecimento, seja em saúde, em ambiente, em geologia, em agronomia, entre tantas outras áreas (CÂMARA et al., 2002).

O emprego do geoprocessamento no gerenciamento de unidades de produção agrícola possibilita a geração de um banco de dados, no formato vetorial ou raster, georreferenciados, o que permite efetuar avaliações, análises espaciais e simulações em função de variáveis como pedologia, altitude, fertilidade, irrigação e produtividade, subsidiando tomadas de decisões técnicas e administrativas, de viabilidade, implantação, manejo e colheita a serem implementadas (ORTIZ, 2003).

É possível compreender o geoprocessamento como um conjunto de técnicas que permitem realizar análises espaciais, manipular e gerenciar informações espaciais georreferenciadas com uma agilidade e precisão que até antes de seu surgimento, eram inimagináveis (CARVALHO e LEITE, 2009).

Um Sistema de Informação Geográfica (SIG) tem a habilidade de manipular, por exemplo, dados de variabilidade espacial de produtividade, podendo analisá-los conjuntamente com outros dados como solos, modelos numéricos do terreno, restrições para o plantio, modelando cenários futuros e avaliando a efetividade de manejo, monitorado para cada área (ROCHA e LAMPARELLI, 1998). Segundo Oliveira (2007), dados de amostras, coletas, medições e observações no campo podem ser introduzidos em um SIG associados à sua posição geográfica e, a partir da ordenação destes dados, analisá-los e visualizá-los em diferentes planos através de mapas. Isso faz com que se possa tratar o solo de maneira diferenciada,

pois a partir do georreferenciamento aliado a sistemas de posicionamento global (GPS) consegue-se retornar a qualquer ponto no campo.

Os SIGs, devido a sua crescente utilização, vêm incorporando novos princípios e procedimentos de análise espacial. Esse esforço deve-se ao consenso, hoje existente, de que o futuro sucesso da tecnologia dos SIGs depende de sua capacidade de gerar cenários confiáveis (mapas), através de um conjunto de procedimentos e ferramentas para a modelagem espacial, que possam representar adequadamente, em meio digital, as propriedades, os processos e as suas imprecisões (CAMARGO, 1997).

3. VELOCIDADE DO PULVERIZADOR NA VARIABILIDADE ESPACIAL DOS MOVIMENTOS DA BARRA DE APLICAÇÃO E DEPOSIÇÃO DE CALDA

3.1. MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo situa-se no Sítio Santa Luzia, o qual localiza-se no município de Itambaracá-PR, no km 113,5 da rodovia PR-436 (Rodovia Geraldo Maluta), com área total de 20,57 ha. A área de estudo encontra-se entre as coordenadas leste 562.033/562.254 e norte 7.460.783/ 7.460.805, Fuso 22, *datum* Sirgas 2000 e projeção UTM (Universal Transversa de Mercator). O município de Itambaracá-PR se estende por uma área de aproximadamente 20700,3 ha, com altitude média de 402 metros (IBGE, 2012).

A Figura 3.1 apresenta a localização do município de Itambaracá-PR, a visão espacial da área de estudo obtida por sensores orbitais, delimitação da área total e poligonal da área dos ensaios, bem como sua visão panorâmica.

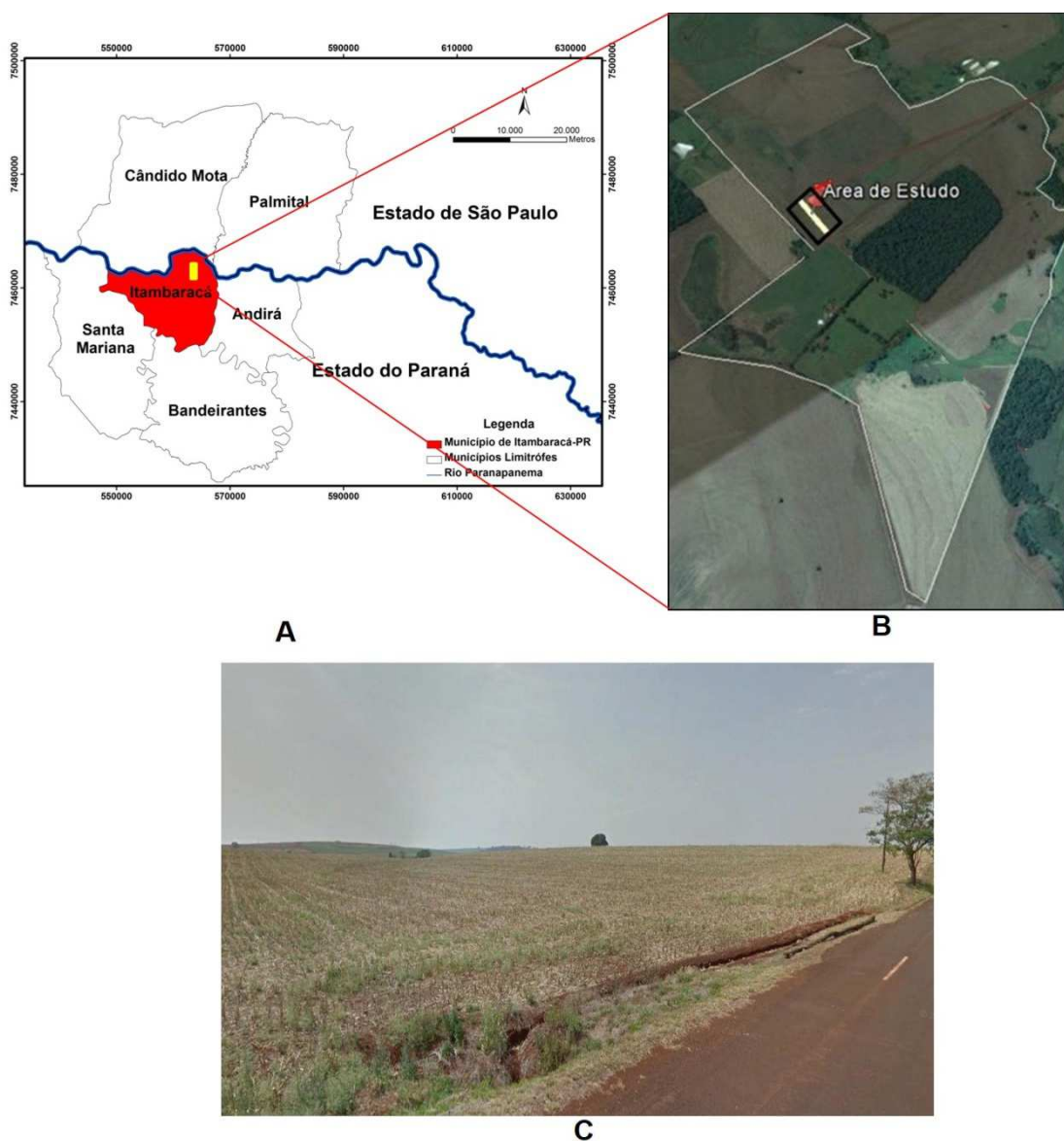


Figura 3.1. Município de Itambaracá-PR (A), imagem orbital da área de estudo e delimitação da área total e poligonal da área dos ensaios (B) e visão panorâmica (C).

Foram realizados ensaios visando quantificar a deposição de calda de pulverização em diferentes velocidades e a mensuração da oscilação vertical da barra de um pulverizador em cada situação, bem como a possível influência do relevo do local nos processos envolvidos, a partir da utilização de videografia digital, deposição de calda, análise espacial das variáveis estudadas com auxílio de técnicas de geoprocessamento e geoestatística.

A altitude do local foi obtida por meio de uma estação total (TOPCON[®], modelo ES-101), na qual foi empregado o método de obtenção por irradiação, sendo o mais adequado na avaliação de pequenas superfícies relativamente planas. O contorno da área foi demarcado por bandeiramento e a

medição dos pontos do terreno foi realizada a partir de um ponto central fora da área demarcada, sendo obtido um total de 79 pontos ao longo da área contendo informações referentes à georreferência e altitude do terreno.

A Figura 3.2 representa a distribuição dos pontos obtidos com a estação total na área de estudo e suas respectivas curvas de nível espaçadas a cada 0,5 metro.

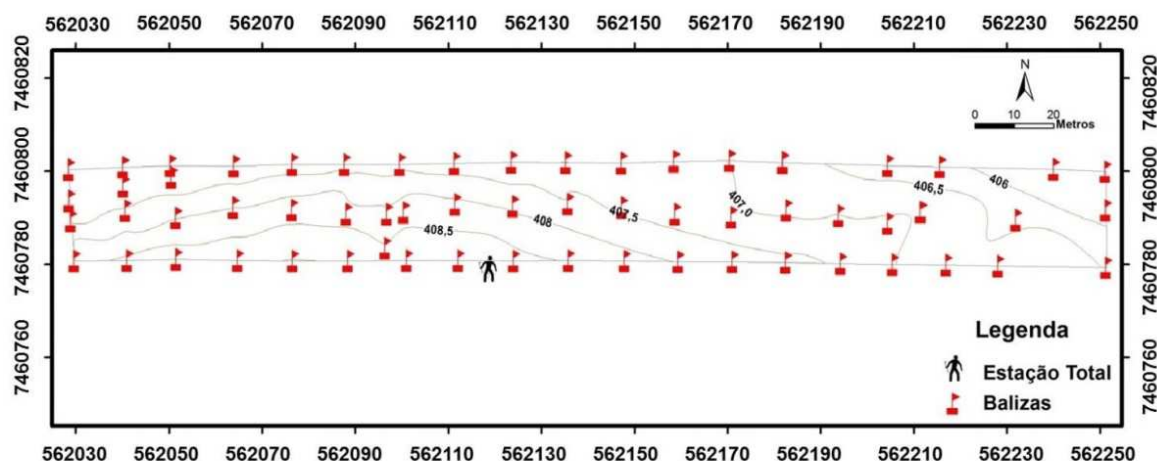


Figura 3.2. Altitude obtida por estação total, distribuição dos pontos e curvas de nível.

Os dados referentes à altitude (m) foram avaliados por geoestatística (interpolação por krigagem), na qual se verificou a existência e o grau de dependência espacial a partir do ajuste de funções teóricas aos modelos de variogramas experimentais, sendo posteriormente obtido o modelo numérico do terreno da área.

A distribuição dos pontos de coleta de deposição da calda e a demarcação da área foram realizadas com o auxílio de um aparelho GPS (TRIMBLE®, modelo Juno Handeld SA) com projeção UTM definida no *datum* Sirgas 2000. Os pontos de coleta da deposição de calda tiveram espaçamento de 10 em 10 metros, divididos em quatro linhas contendo 20 pontos cada, totalizando 80 pontos de coleta (Figura 3.3).

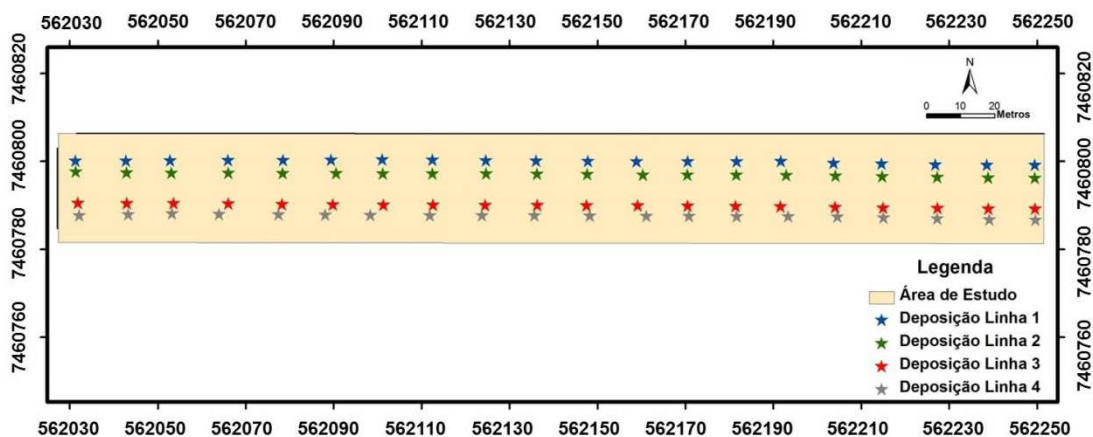


Figura 3.3. Distribuição dos pontos de coleta de deposição de calda.

Para a tração do pulverizador foi utilizado um trator com distância entre eixos de 2,23 metros, comprimento total de 4,02 m, 85 cv e torque máximo de 316 N m^{-1} (VALTRA[®], modelo A850). O pulverizador utilizado no ensaio foi o modelo Columbia AD18, fabricante JACTO[®] com volume do tanque de 2000 litros, barras de pulverização hidráulica com 18 metros de comprimento, espaçamentos entre pontas de 0,5 m, possuindo 37 pontas, com bitola de 1,8 metros. Foi utilizada uma ponta jato plano duplo de gota grossa “Anti Deriva” de Cerâmica com Indução de Ar (MAGNOJET[®], modelo AD-IA 110 02) para a aplicação. A Figura 3.4 apresenta o conjunto trator/pulverizador e a ponta de pulverização utilizada no ensaio.



Figura 3.4. Conjunto Trator/Pulverizador (A850/AD18) e ponta de pulverização (AD-IA 110 02).

Para melhores condições de trabalho no momento da aplicação foi realizada uma inspeção periódica de pulverizadores (IPP) no conjunto trator-pulverizador no dia anterior ao ensaio, evitando assim problemas como erros de localização de mangueiras, obstrução do jato de pulverização, vazamentos, espaçamento entre bicos, vazão, pontas, pressão e taxa de aplicação.

Foram definidas duas velocidades de operação, na qual a menor velocidade foi de $1,725 \text{ m s}^{-1}$ com vazão das pontas de $0,942 \text{ L min}^{-1}$ (408,87 kPa) e taxa de aplicação de $182,03 \text{ L ha}^{-1}$. A maior velocidade foi de $2,736 \text{ m s}^{-1}$, com vazão das pontas de $0,942 \text{ L min}^{-1}$ (408,87 kPa) e taxa de aplicação de $114,68 \text{ L ha}^{-1}$, ambos os ajustes com espaçamento de 0,5 metros.

As condições climáticas foram obtidas por anemômetro para a velocidade do vento e um termo higrômetro para a umidade relativa do ar e a temperatura. Assim, para a velocidade de $1,725 \text{ m s}^{-1}$ a temperatura foi de $31,9^\circ \text{ C}$, umidade de 46% e velocidade do vento em $1,16 \text{ m s}^{-1}$. Na velocidade de $2,736 \text{ m s}^{-1}$, a temperatura foi de $32,4^\circ \text{ C}$, umidade de 44% e velocidade do vento de $0,94 \text{ m s}^{-1}$.

Para a avaliação da deposição foi adicionado à calda de pulverização no tanque, o marcador azul brilhante FDC-1, na concentração de 0,6%, m l^{-1} , sendo que a mesma calda foi utilizada para a pulverização nas diferentes condições. A taxa de aplicação está em função da velocidade de deslocamento, espaçamento entre pontas e vazão entre pontas. Considerando que neste estudo variou-se a velocidade e mantidas constantes as demais variáveis, portanto, a taxa de aplicação foi calculada conforme expressa na equação 1:

$$Q (\text{L/ha}) = \frac{Q (\text{L m}^{-1}) \times 600}{v (\text{km h}^{-1}) \times E (\text{m})}$$

Em que:

Q = vazão média de todas as pontas da barra (L/min);

L/ha = taxa de aplicação (ou volume de calda);

km/h = velocidade de aplicação;

E = espaçamento entre bicos (em metros).

A deposição da calda foi coletada por meio de alvos artificiais compostos por lâminas de vidro com dimensões de 10 x 20 cm e 0,03 cm de

espessura, conforme metodologia descrita por Velini et al. (2011). As lâminas foram distribuídas horizontalmente sobre superfície limpa (papel toalha) no sentido do deslocamento do conjunto trator/pulverizador e paralelamente à barra de pulverização e georreferenciadas para a aplicação de técnicas geoestatísticas e mapeamento (Figura 3.5). A retirada das lâminas foi feita 5 minutos após a aplicação, sendo acomodadas em recipientes plásticos com tampa, conforme ilustrado na Figura 3.6.

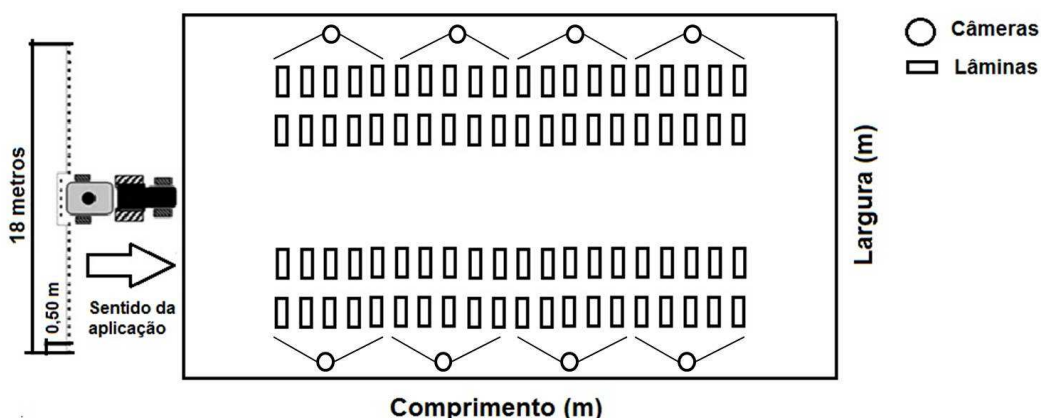


Figura 3.5. Representação do desenho de distribuição e alocação das lâminas de vidro e câmeras para estudo de videografia em campo.



Figura 3.6. Lâminas acomodadas em potes plásticos com tampa.

Os recipientes foram colocados em caixas térmicas para evitar exposição das lâminas à radiação solar, e mantidas secas até o momento da lavagem, evitando a degradação do corante.

A extração da calda por lavagem foi realizada 24 horas após as aplicações. Acrescentou-se 40 mL de água destilada a cada recipiente plástico, os quais foram agitados manualmente por 40 segundos, sendo 20 segundos de

agitação para cada face das lâminas voltada para cima dentro do recipiente. Posteriormente, o líquido resultante foi depositado em frascos de 100 mL com tampa e teve sua absorvância detectada por espectrofotometria a 630 nm de comprimento de ondas (Figura 3.7). Os dados de absorvância do corante para cálculo da deposição foram transformados em $\mu\text{g cm}^{-2}$.



Figura 3.7. Lavagem com 40 mL de água destilada e leitura no espectrofotômetro.

A avaliação da oscilação da barra do pulverizador foi realizada por meio da análise de imagens obtidas com oito câmeras digitais (quatro para a parte superior e quatro para a inferior da área), utilizando o modo de aquisição de vídeo. O deslocamento do conjunto trator/pulverizador foi registrado lateralmente, usando como referência um alvo de papel branco com diâmetro de 0,35 m, fixado com o auxílio de abraçadeiras de plástico, nas extremidades da barra do pulverizador, conforme a Figura 3.8.



Figura 3.8. Alvo (referência de papel) fixado na extremidade da barra do pulverizador.

A oscilação das extremidades da barra foi capturada através da segmentação dos vídeos em imagens estáticas pelo software Windows Movie Maker[®], em intervalos de tempo de 1 segundo. Em cada tratamento foram capturadas diferentes números de imagens em função dos diferentes valores de megapixels e resoluções das câmeras utilizadas. As imagens resultantes foram transferidas para o Microsoft Paint[®], o qual permitiu a visualização das medidas das posições do ponto de referência na barra em pixels. Utilizando o Microsoft Excel[®], as medidas das posições foram transformadas de pixels para metros através de uma correlação com a medida da distância entre os eixos do trator.

A Figura 3.9 ilustra o registro da posição vertical do ponto de referência na extremidade da barra, em determinado instante, utilizando o Microsoft Paint[®].

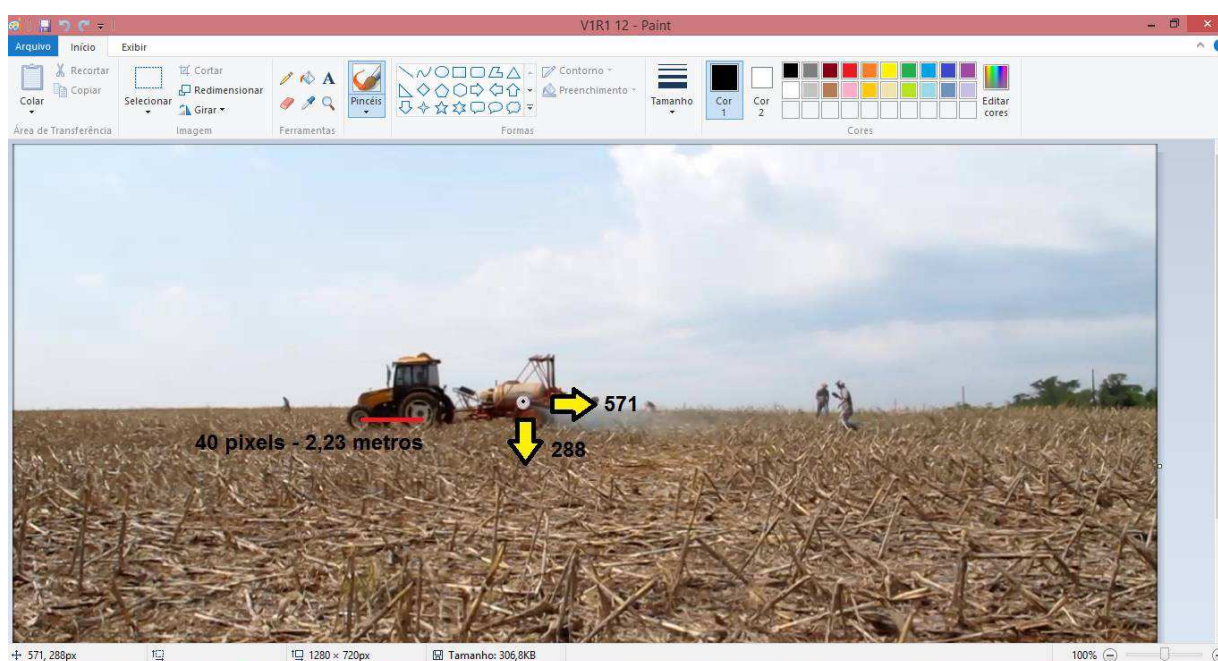


Figura 3.9. Posição em pixels do ponto de referência da barra no software Microsoft Paint[®].

Os movimentos horizontais da barra do pulverizador podem influenciar na deposição da calda, no entanto, para o presente trabalho esse movimento não foi avaliado. Para analisar os movimentos verticais da barra de pulverização durante o percurso nos tratamentos propostos, a amplitude foi determinada pelo cálculo da diferença entre o erro de posição máximo e mínimo da extremidade da barra. Considerando a distorção em função da profundidade do campo de visão na filmagem, para obter o valor correto da movimentação das barras

foi calculado o fator de correção das imagens (f.c), que corrige a diferença entre o tempo de deslocamento do trator em função do tempo de deslocamento da extremidade da barra.

O deslocamento vertical do ponto de referência, em pixels foi determinado pelo valor da diferença, entre a posição vertical inicial da extremidade da barra e a posição vertical para cada intervalo de 1 segundo, utilizando a equação 2:

$$Z_n = d.v - V_n$$

Em que:

Z_n = diferença entre a posição da extremidade da barra, no instante da observação e a posição no início do deslocamento do conjunto trator/pulverizador (pixels);

$d.v$ = valor da posição vertical (em pixels) do ponto de referência no início do deslocamento (0,00 segundos);

V_n = valor da posição vertical (em pixels) do ponto de referência da extremidade da barra no instante da observação.

Foi convertido o valor de pixels (Z_n) para metros, considerando o efeito de distorção provocado pela profundidade da imagem obtida lateralmente, aplicando a equação 3:

$$X_{vn} = \left[\frac{Z_n \cdot \frac{2,23}{d.e}}{f.c} \right]$$

Em que:

X_{vn} = diferença entre a posição da extremidade da barra, no instante da observação e a posição no início do deslocamento do conjunto trator-pulverizador (metros);

Z_n = diferença entre a posição da extremidade da barra, no instante da observação e a posição no início do deslocamento do conjunto trator-pulverizador (pixels);

2,23 = valor em metros da distância entre eixos das rodas do trator;

$d.e$ = valor da distância entre eixos das rodas do trator (pixels);

f.c = fator para correção da distorção provocada pela profundidade da imagem na filmagem, obtido dividindo-se o tempo do percurso da roda do trator pelo tempo de percurso do ponto de referência na extremidade da barra.

Os dados de deposição, altitude e videografia da oscilação vertical foram analisados pela estatística descritiva, média, mediana; moda; mínimo; máximo; variância; desvio padrão; coeficiente de variância e coeficiente de assimetria.

Para verificar a dependência espacial das variáveis, foi utilizada a análise geoestatística, como proposto por Vieira (2000). A dependência espacial foi avaliada por ajustes de variogramas, com base na pressuposição de estacionaridade da hipótese intrínseca e conforme a equação 4 expressa por Landim (1998).

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

Em que:

$N(h)$ - número de pares experimentais de observações $Z(x_i), Z(x_i+h)$, separados por um vetor h e modelos exponenciais foram testados.

O modelo que melhor representou à relação entre variância experimental, a (h) distância e os parâmetros como Efeito pepita (C_0) - descontinuidade do variograma para distâncias menores do que a menor distância entre as amostras; Patamar ($C_0 + C$) - valor do variograma correspondente a seu alcance; e Alcance (a) - distância dentro da qual as amostras apresentam-se correlacionadas espacialmente, foram definidos. Para verificar a dependência espacial utilizou-se o índice de dependência espacial (IDE), proposto por Zimback (2001), assumindo os seguintes intervalos: dependência espacial baixa ($IDE \leq 25\%$), moderada ($25\% < IDE < 75\%$) e forte ($IDE \geq 75\%$).

A interpolação dos mapas foi elaborada usando krigagem ordinária. A construção de mapas com os valores obtidos por krigagem são importantes para a verificação e interpretação da variabilidade espacial. A análise dos dados torna-se completa com as informações apresentadas nos mapas, os quais são úteis na tomada de decisões (CARVALHO et al., 2010).

A análise geoestatística e os modelos de variogramas dos atributos estudados foram ajustados utilizando o Software GeoMS[®]. Os mapas temáticos foram gerados utilizando o programa ArcGis[®], versão 9.3.1.

3.2. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.2.1. ANÁLISE EXPLORATÓRIA E DESCRITIVA

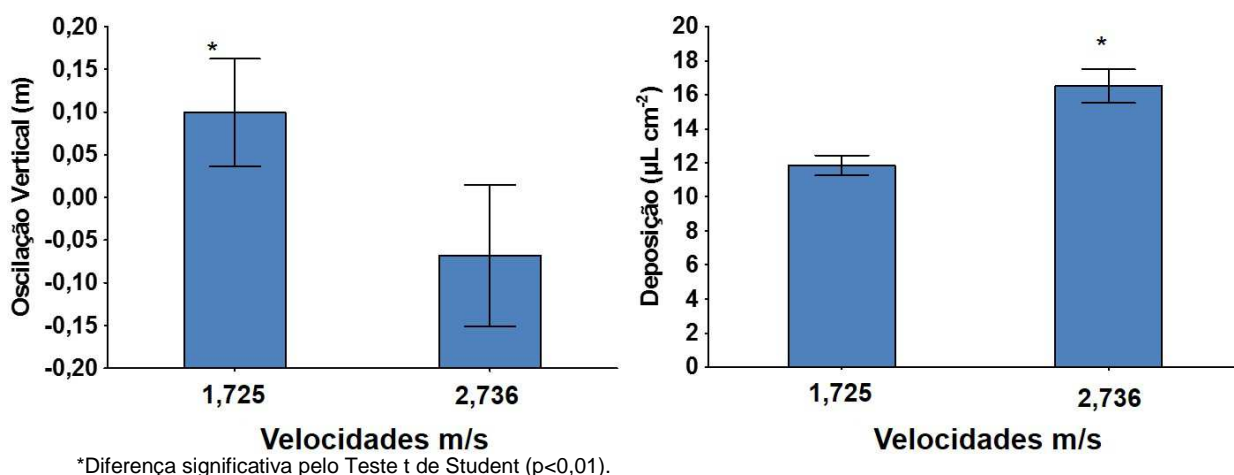
Nesta análise, determinaram-se as medidas de posição e dispersão, bem como o Teste t de Student ($p < 0,01$) entre as médias das deposições e oscilações nas diferentes velocidades. Na Tabela 3.1, os valores da média da deposição foram maiores, em virtude da mudança na taxa de aplicação conforme houve o aumento da velocidade de operação. Os valores de oscilação negativos representam uma oscilação abaixo do início do deslocamento em metros (0,0 metros). Como o coeficiente de variação da velocidade de $1,725 \text{ m s}^{-1}$ foi menor que o coeficiente de variação da velocidade de $2,736 \text{ m s}^{-1}$, pode-se afirmar que os dados relativos à deposição são mais homogêneos na menor velocidade. Aplicando a mesma análise para a oscilação, o CV da maior velocidade possui os dados mais homogêneos. No aumento da velocidade a amplitude vertical foi menor e houve aumento da deposição.

Tabela 3.1. Estatística descritiva da deposição, oscilação e altitude para as duas velocidades de deslocamento do pulverizador.

	VARIÁVEIS				
	Oscilação (m)		Deposição ($\mu\text{L cm}^{-2}$)		Altitude (m)
	1,725 m s ⁻¹	2,736 m s ⁻¹	1,725 m s ⁻¹	2,736 m s ⁻¹	
Média	0,1	-0,16	11,85	17,29	407,51
Mediana	0,11	-0,02	11,61	17,21	407,29
Mínimo	-0,79	-1,36	6,52	8,29	405,52
Máximo	1,22	0,74	18,28	43,96	409,02
S	0,12	0,24	6,93	20,73	0,65
s ²	0,35	0,49	2,63	4,55	0,8
CV (%)	353	-312	22	26	1
C _k	0,22	-0,74	0,42	2,4	3,43

Med.: mediana; Moda; Min.: Mínimo; Max.: Máximo; S: Variância; s²: desvio padrão; CV(%): coeficiente de variação; C_k: coeficiente de assimetria.

Na Figura 3.10 estão representadas as análises da deposição e da oscilação vertical da barra do pulverizador em função das velocidades de deslocamento do pulverizador. Na análise entre as amplitudes verticais e os coeficientes de variação dos depósitos, observa-se que houve proporcionalidade direta entre os fatores, ou seja, onde a amplitude vertical foi menor, ocorreu maior coeficiente de variação da deposição (CV = 26%). Langenkens et al. (1999) ressalta que os efeitos dos movimentos de uma barra de pulverização na aplicação do líquido apresentam grandes influências na distribuição da pulverização, especialmente nas extremidades da barra onde a amplitude é mais importante. Desse modo, é possível ir de encontro ao estudo de Barcellos (2006) ao dizer que as oscilações verticais da barra, causadas por irregularidades no terreno, alteraram a altura dos bicos em relação ao alvo, prejudicando a uniformidade da distribuição.



*Diferença significativa pelo Teste t de Student ($p < 0,01$).

Figura 3.10. Oscilação vertical da barra de pulverização (m) e depósito de marcador (μL) em lâminas de vidro e em função das velocidades de deslocamento do pulverizador.

A Figura 3.11 representa o comportamento unidirecional da barra do pulverizador nas duas velocidades de deslocamento da máquina. O eixo correspondente às oscilações verticais (y) possuem valores diferentes pelo fato das amplitudes terem atingidos valores mais negativos na velocidade de $2,736 \text{ m s}^{-1}$. Foram observadas em cada tratamento, as oscilações verticais da barra durante o percurso do conjunto trator/pulverizador na área de ensaio. Os valores positivos indicam oscilação da barra para cima do ponto de inserção da barra no pulverizador, enquanto valores negativos mostram deslocamentos para baixo. No relevo da área de estudo, a variação da amplitude foi menor na velocidade de $2,736 \text{ m s}^{-1}$, quando comparada com a amplitude obtida na velocidade de $1,725 \text{ m s}^{-1}$.

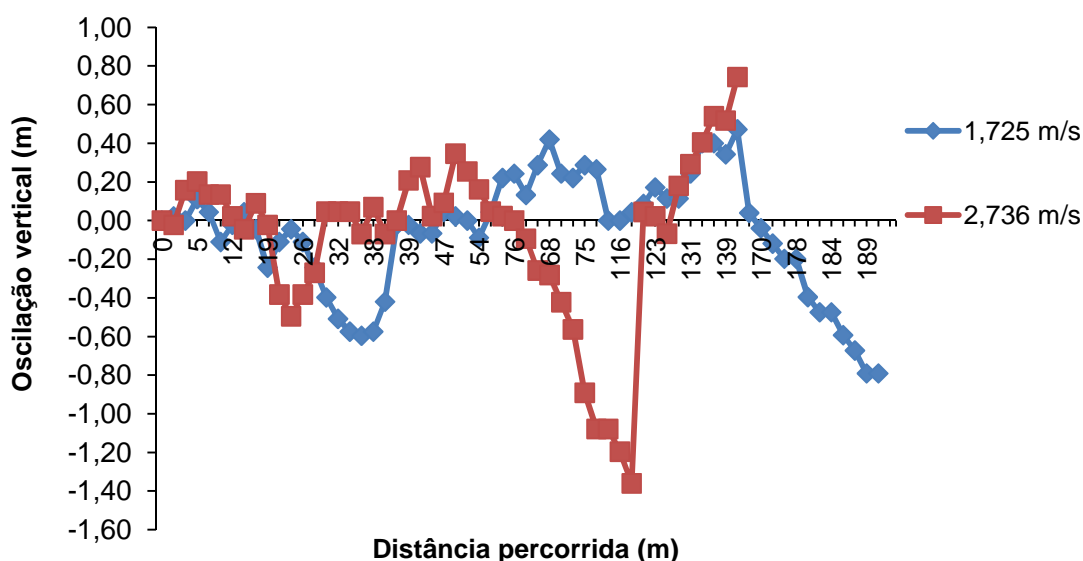


Figura 3.11. Comportamento da barra do pulverizador considerando os movimentos verticais ao longo do tempo para a velocidade de $1,725 \text{ m s}^{-1}$ e $2,736 \text{ m s}^{-1}$.

3.2.2. ANÁLISE ESPACIAL

Na análise espacial, todos os atributos apresentaram ajustes significativos pela regressão linear, tendo como variável independente somente a coordenada x dos pontos amostrais. A Tabela 3.2 contém os patamares encontrados nos variogramas cruzados correspondente às covariâncias entre as duas variáveis. Nota-se que o alcance para a velocidade de $2,736 \text{ m s}^{-1}$ foi maior para as variáveis oscilação e deposição, o número de amostras para a oscilação foi maior para velocidade de $1,725 \text{ m s}^{-1}$ (total de 244), pois o tempo do deslocamento do pulverizador é maior ante a menor velocidade. Para a oscilação, a velocidade de $2,736 \text{ m s}^{-1}$ apresentou ajustes ao modelo esférico enquanto a velocidade de $1,725 \text{ m s}^{-1}$, o modelo gaussiano. A principal diferença entre os modelos, é que o modelo esférico possui crescimento rápido na origem e não há mais dependência espacial após atingir o patamar, enquanto o modelo gaussiano indica pequena variabilidade para curtas distâncias, atingindo o patamar assintoticamente. Ou seja, o alcance é definido como o alcance prático ou distância, na qual o valor do modelo é 95% do patamar, no entanto, continua havendo dependência espacial.

De acordo com Landim (2006), o modelo esférico é o modelo mais comum, podendo-se afirmar que equivale à função de distribuição normal da estatística clássica. Desse modo, é correto afirmar que os valores das amostras representam 95% do patamar de alcance.

Tabela 3.2. Modelos e parâmetros dos variogramas da oscilação, deposição e altitude para as duas velocidades de deslocamento do pulverizador.

	VARIÁVEIS				
	Oscilação (m)		Deposição ($\mu\text{L cm}^{-2}$)		Altitude (m)
	$1,725 \text{ m s}^{-1}$	$2,736 \text{ m s}^{-1}$	$1,725 \text{ m s}^{-1}$	$2,736 \text{ m s}^{-1}$	
Amostras	244	192	80	80	79
Modelo	Gaussiano	Esférico	Esférico	Esférico	Esférico
Alcance (m)	17,283	29,614	12,925	19,611	36,591
C0	0,001	0	1,61	5,513	0
C1	0,175	0,221	5,46	18,972	0,578
IDE (%)	0,56	0	22,77	22,51	0

C0 = Efeito pepita; C1 = Variância estrutural; IDE = Índice de dependência espacial.

Na Figura 3.13 estão representados os modelos de variogramas teóricos escalonados com o melhor ajuste aos dados experimentais das oscilações, deposições para as diferentes velocidades trabalhadas $1,725 \text{ m s}^{-1}$ e $2,736 \text{ m s}^{-1}$ e para a altitude da área de estudo. O escalonamento foi realizado no sentido de padronizar a escala das variâncias, auxiliando na análise do padrão da distribuição espacial. Esta figura mostra o comportamento geral da distribuição espacial com o modelo esférico para a deposição de calda. Esses modelos mostraram que até uma distância de separação entre as amostras de 12,925 e 19,611 m respectivamente, existe a dependência espacial e que a partir dessa distância não ocorre mais a dependência. Para a oscilação, a análise dos variogramas, apresentam alcances de 17,283 e 29,614 metros.

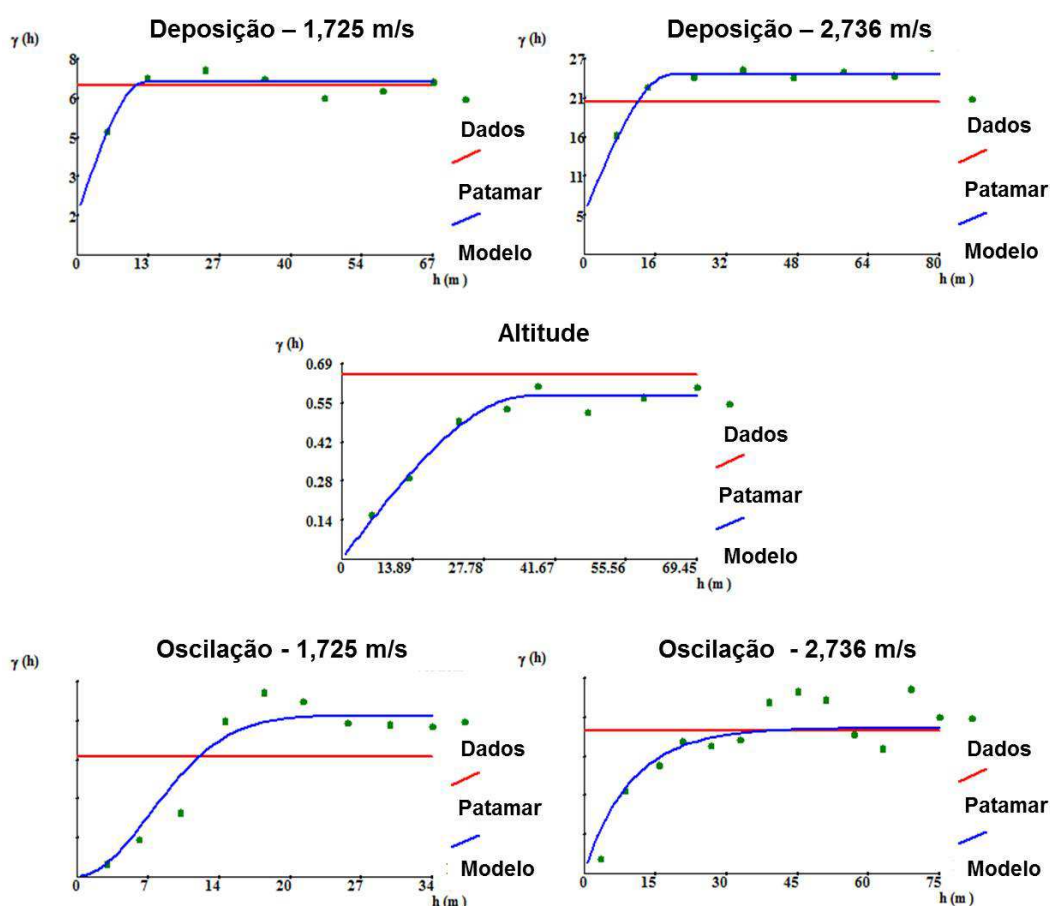


Figura 3.13. Variogramas teóricos e experimentais da deposição ($\mu\text{L cm}^{-2}$), oscilação vertical da barra para as velocidades de $1,725 \text{ m s}^{-1}$ e $2,736 \text{ m s}^{-1}$ e da altitude.

Definidos os alcances de dependência espacial, isso quer dizer que amostras separadas por distâncias menores que o alcance, são correlacionadas umas com as outras, o que permite realizar interpolações para espaçamentos menores do que o utilizado na amostragem. O conhecimento do alcance da dependência espacial define-se na distância da independência entre os pontos amostrais (CARVALHO et al., 2002). A altitude não varia de um tratamento para outro, não havendo necessidade de padronização na distribuição espacial.

Os índices de dependência espacial (IDE) para a oscilação e deposição para a velocidade de $1,725 \text{ m s}^{-1}$ (0,56% e 22,77%) e para a velocidade de $2,736 \text{ m s}^{-1}$ (0% e 22,51%) e altitude (0%) de acordo com os intervalos propostos por Zimback (2001), apresentaram fraca dependência espacial.

Comprovada a dependência espacial entre os dados das oscilações, deposição e altitude foram realizadas interpolações por meio da krigagem ordinária, para estimar valores para locais não amostrados (Figuras 3.14, 3.15 e 3.16).

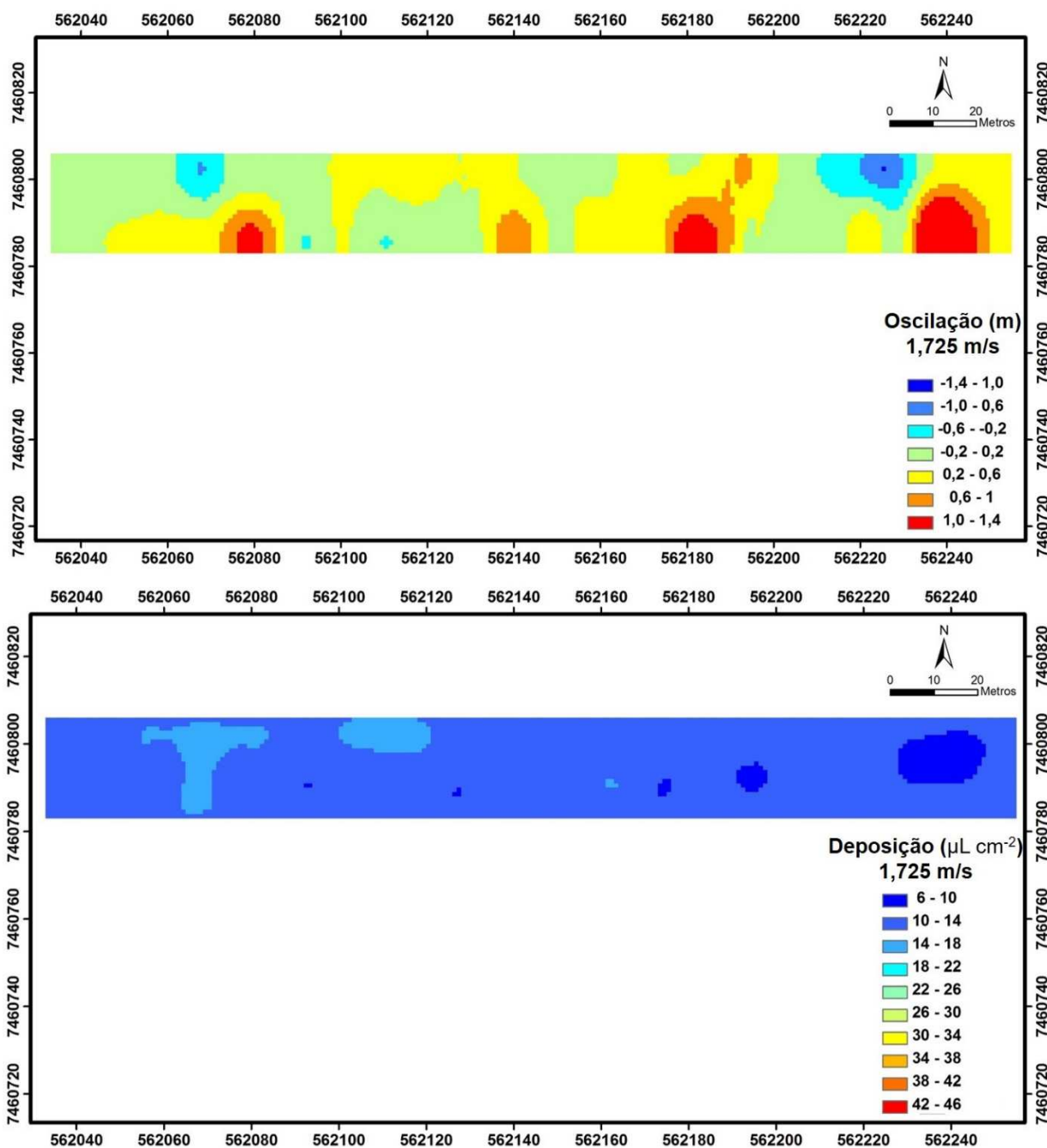


Figura 3.14. Mapas de distribuição espacial da oscilação e deposição para a velocidade de $1,725 \text{ m s}^{-1}$ e interpolador krigagem.

Verifica-se distribuição espacial inversa, regiões com maiores concentrações de uma fração indica menor da outra, e vice-versa. Os mapas na velocidade de $1,725 \text{ m s}^{-1}$ de oscilação e deposição apresentam regiões descontínuas, o que comprova os menores alcances de dependência espacial obtidos. Embora a oscilação tenha apresentado valores elevados, o mesmo não foi constatado para a deposição, comprovando a influência das oscilações da barra na variação da deposição da calda de pulverização. Áreas identificadas com as cores

vermelho, laranja e amarelo apresentam os maiores valores no mapa de oscilação na velocidade de $1,725 \text{ m s}^{-1}$, já para a deposição as mesmas faixas não resultaram no aumento da deposição.

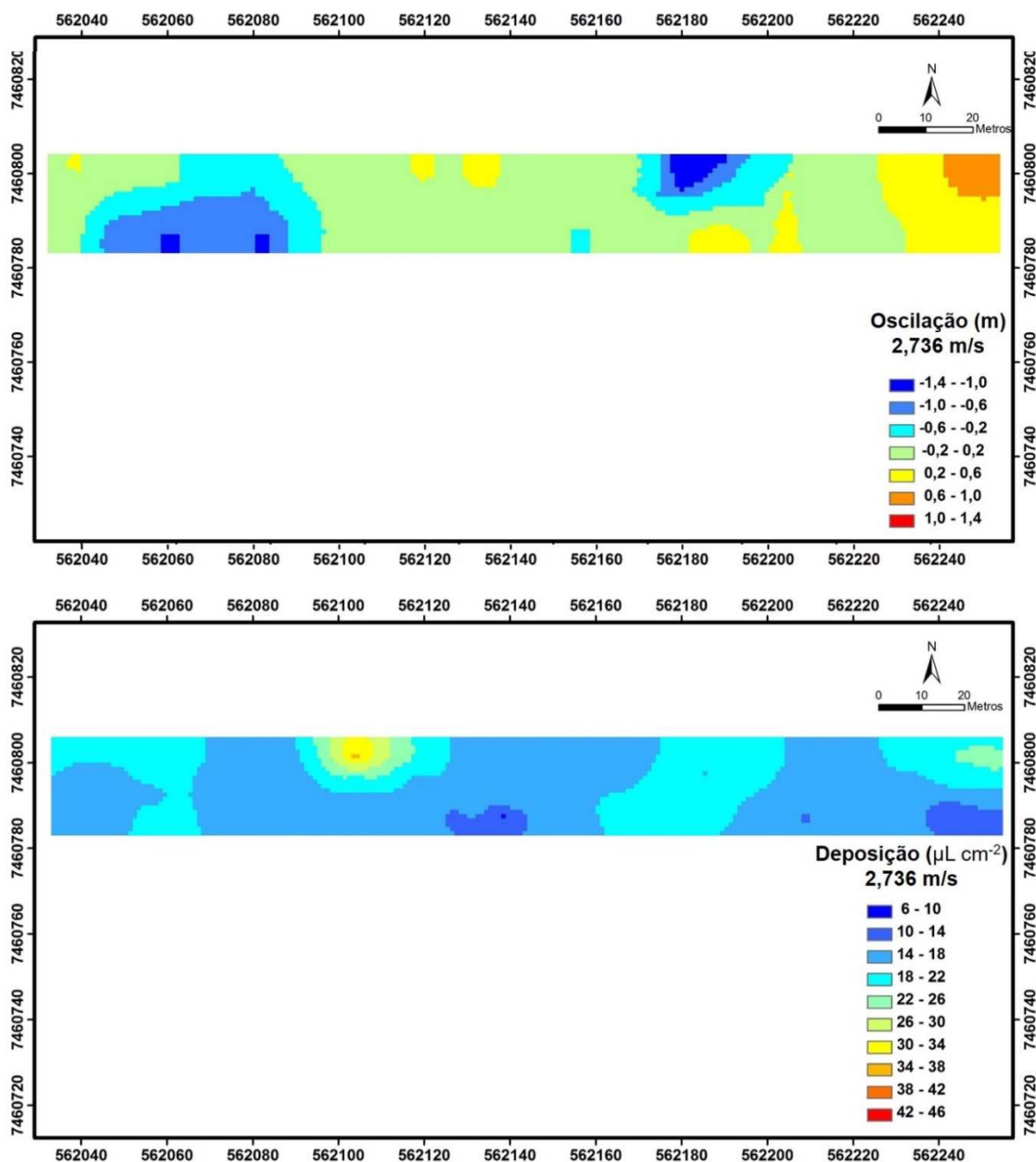


Figura 3.15. Mapas de distribuição espacial da oscilação e deposição para a velocidade de $2,736 \text{ m s}^{-1}$ pelo interpolador krigagem.

Na velocidade de $2,736 \text{ m s}^{-1}$, mesmo apresentando regiões contínuas para a oscilação e deposição, não houve o mesmo padrão para

distribuição do líquido. Áreas com a mesma faixa de oscilação (cor verde), apresentaram diminuições para os valores de deposição.

Por apresentar valores negativos de oscilação vertical na velocidade nesta condição, a barra ficou mais próxima do alvo, resultando no aumento da deposição. No entanto, assim como na velocidade de $1,725 \text{ m s}^{-1}$, os valores de deposição não aumentaram com os valores de oscilação, visto que áreas com maiores oscilações, como no início e fim do trajeto percorrido pelo conjunto trator/pulverizador, não apresentaram os maiores valores de deposição, o que ressalta a influência da velocidade na deposição.

Womac et al. (2001) operando em diferentes velocidades, constataram que na aplicação da calda em condições de campo houve variação da distribuição do líquido. Segundo Kennes et al. (1999), os movimentos da barra causados por variações da velocidade resultam em variações na aplicação do líquido na direção de deslocamento do pulverizador.

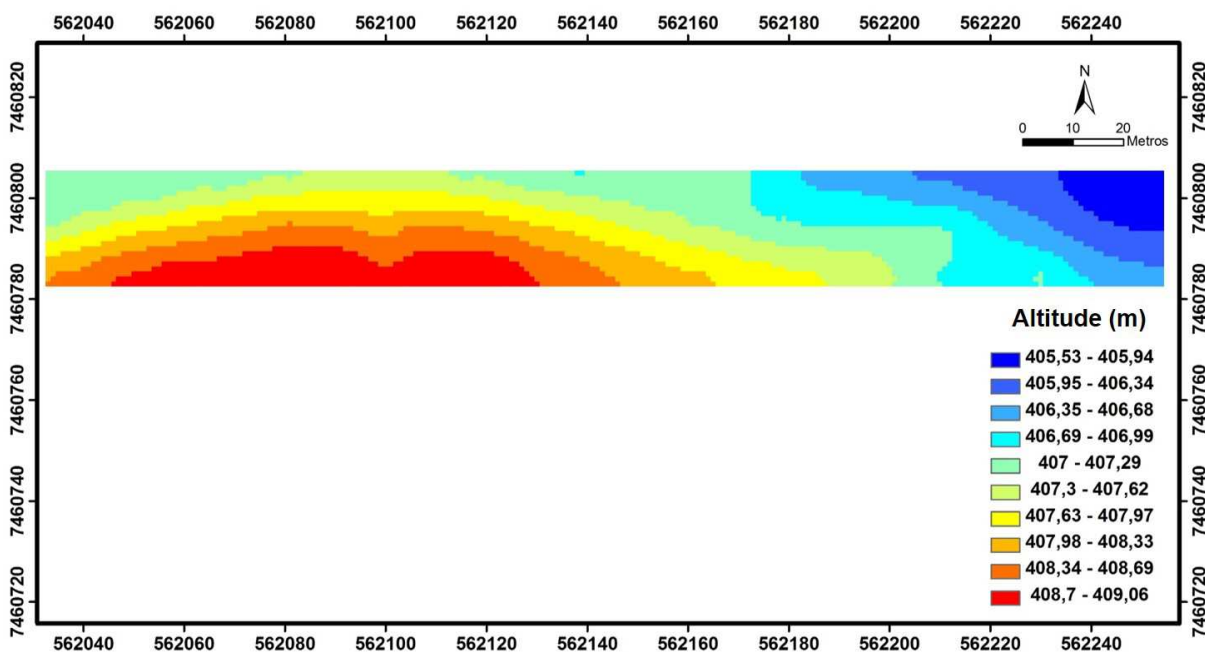


Figura 3.16. Mapa de distribuição espacial da altitude da área de estudo pelo interpolador krigagem.

A altitude da área de estudo, não influenciou significativamente a deposição para as diferentes velocidades de operação. No entanto, para algumas áreas de oscilação houve essa influência. Para a velocidade de $2,736 \text{ m s}^{-1}$, a região com menor altitude resultou nos maiores valores de oscilação da barra. As

oscilações verticais da barra, causadas por irregularidades no terreno, podem alterar a distância entre cada bico e o alvo e distorcendo a distribuição (PONTELLI e MUCHERONI, 2009).

Na comparação entre os dois métodos aplicados, a geoestatística permite, por meio das técnicas empregadas, resultados obtidos e associando à distribuição estatística dos dados no espaço, a visualização dos fenômenos ocorridos de maneira espacial e não pontualmente, que por meio de produtos cartográficos, torna possível a visualização, interpretação e localização do ocorrido ao longo de toda a extensão.

A estatística clássica, levando em conta somente os dados pontualmente obtidos, resultou em um cenário coincidente com o obtido por meio de técnicas geoestatística. No entanto, o espaçamento entre os pontos é preenchido por lacunas, as quais são consideradas áreas homogêneas somente com a utilização da média das variáveis, o que, de certa forma, acaba considerando a área homogênea como um todo.

Toda via os fenômenos não se distribuem dessa maneira no espaço, uma vez que os valores de uma variável estão de alguma forma relacionada à sua distribuição espacial. Ou seja, observações tomadas a curtas distâncias devem ser mais semelhantes do que aquelas tomadas a distâncias maiores.

A geoestatística, por levar em consideração o comportamento espacial das variáveis apresenta grande potencial de aplicação nos estudos que compreendem geociências e ciências agrárias. Os estudos envolvendo geoestatística, conforme Reichardt et al. (1986), não tem como pretensão excluir a estatística clássica e sim complementá-la, auxiliando na interpretação e identificação das variabilidades presentes no local.

CONCLUSÕES GERAIS

O aumento da velocidade provocou a aproximação da barra do pulverizador com o alvo e maior deposição da calda de pulverização.

A velocidade exerceu maior influência sobre a barra do pulverizador em relação a altitude do local.

Houve variabilidade espacial nas variáveis estudadas (velocidade, deposição e oscilação) para ambas as condições de tratamento (velocidades de $1,725 \text{ m s}^{-1}$ e $2,736 \text{ m s}^{-1}$).

As variáveis apresentaram diferença significativa pela estatística clássica e na análise geoestatística, configurações espaciais diferentes.

REFERÊNCIAS

ALBURQUERQUE, J.A.; REINERT, D.J. & FIORIN, J.E. Variabilidade de solo e planta em Podzólico Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 20:151-157, 1996.

ARAÚJO, W. T; SANTOS, R. L; LAGE, C. S. A modelagem digital de elevação como instrumento de análise da ocupação do sítio urbano. **Revista de Sistemas de Informação** nº. 01 Jan./Jun. 2008.

BARBOSA, A. P.; DA SILVA, A. F.; ZIMBACK, C. R. L. Modelo numérico do terreno obtido por diferentes métodos em cartas planialtimétricas. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.6, p.655–660, 2012.

BARCELLOS, L. C.; ALMEIDA, R.A.; LEÃO, P.G.; SILVA, J.G. Desenvolvimento e avaliação de um pulverizador de barras a tração humana. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 36, n. 1, p. 67-73, 2006.

BATISTA, I.F. **Variabilidade espacial da umidade do solo em irrigação por gotejamento sob cultivo protegido**. 2002. 113 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.

BENEZ, R. A. **Análise da influência dos movimentos verticais e horizontais da barra de um pulverizador na aplicação da calda**. 54 f., 2012. Dissertação

(Mestrado em Energia na Agricultura). Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2012.

BERG, M.V.D.; KLAMT, E. Variabilidade espacial de características de solo na região do Planalto Médio, RS: I. Análise de variância por amostragem aninhada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 21:393-399, 1997.

BERTOLANI, F.C.; VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial da taxa de infiltração de água e espessura do horizonte A, em um Argilossolo Vermelho-Amarelo, sob diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2:393-399, 1997.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J.S. Princípios básicos em geoprocessamento. In: ASSAD, E.D.; SANO, E.E. **Sistemas de Informações Geográficas (Aplicações na Agricultura)**. 2.ed. Brasília: SPI/EMBRAPA-CPAC, 1998. 434 p.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.M.; FUCKS, S. D.; CARVALHO, M. S. Análise espacial e geoprocessamento. In: DRUCK S., CÂMARA G., CARVALHO M. S., MONTEIRO A. M. V., organiza- dores. **Análise espacial de dados geográficos**. Brasília: EMBRAPA Cerrados; 2002. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/>> Acesso em 29 jul. 2015.

CAMARGO, E. C. G. **Desenvolvimento, implementação e teste de procedimentos geoestatísticos (krigagem) no sistema de processamento de informações georreferenciadas (Spring)**. 1997. 123 f. Dissertação (Mestrado) - INPE, São José dos Campos, 1997.

CAMPOS, M. C. C; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M.; MONTANARI, R. Planejamento agrícola e implantação de sistema de cultivo de cana-de-açúcar com auxílio de técnicas geoestatísticas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, p.297-304, 2009.

CAMPOS, S.P. de. **Planejamento do uso do solo através do sistema de informações geográficas IDRISI**. 1996. 124 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1996.

CARBONARI, C. A.; MARTINS, D.; MARCHI, S. R.; CARDOSO, L. R. Efeito de surfatantes e pontas de pulverização na deposição de calda de pulverização em plantas de grama-seda. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 23, n. 4, 2005.

CARVALHO, G. A.; LEITE, D. V. B. Geoprocessamento na gestão urbana municipal – a experiência dos municípios mineiros Sabará e Nova Lima. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 3643- 3650.

CARVALHO, J.R.P.; SILVEIRA, P.M.; VIEIRA, S.R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, p.1151-1159, 2002.

CARVALHO, S. R. L.; VALAS BOAS, G. S.; FADIGAS, F. S.; Variabilidade espacial de atributos físicos e químicos em solos originados nos sedimentos da formação barreiras. **Cadernos de Geociências**, v. 7, n. 2, novembro 2010.

CHAGAS, C. S.; FERNANDES FILHO, E. I.; ROCHA, M. F.; CARVALHO JÚNIOR, W.; SOUZA NETO, N. C. Avaliação de modelos digitais de elevação para aplicação em um mapeamento digital de solos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.218-226, 2010.

COUTO, E.G.; KLAMT. E.; STEIN, A. Estimativa do teor de argila e de potássio trocável em solo esparsamente amostrado no sul do Estado de Mato Grosso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 24:129-140, 2000.

CRESSIE, N.A.C. (1993) **Statistics for Spatial Data**. (Revised Edition) Wiley: New York.

CUNHA, J. P. A. R. et al. Deposição de calda pulverizada na cultura da soja promovida pela aplicação aérea e terrestre. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 2, p. 343-351, 2011.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3.ed. Brasília, Embrapa, 2013. 353 p.

FRANCISCO P. R. M; **Classificação e mapeamento das terras para mecanização agrícola do estado da Paraíba utilizando sistema de informações geográficas**; Dissertação (Mestrado em manejo de Solo e Água) Universidade Federal da Paraíba Areia, PB –2010.

GOMES, L. N. **Modelagem numérica do terreno na avaliação do volume admissível em canais de cordões de contorno nivelados**. 90 f., 2009. Tese (Doutorado). Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, SP, 2009.

GOMES, L. N.; CARDOSO, L. G. Modelagem Numérica da Superfície na Geração da Planialtitude Segundo Dados de Quatro Equipamentos Topográficos. **Irriga**, Botucatu. V.3, n.1, p. 81-91, 2008. Disponível em: <<http://200.145.141.142/revistas/irriga/include/getdoc.php?id=772&article=284&mode=pdf>>. Acesso em 20 jul. 2015.

GUEDES FILHO, O. **Variabilidade espacial e temporal de mapas de colheita e atributos do solo em um sistema de semeadura direta**. 97f., 2009. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical). Instituto Agrônômico de Campinas, Campinas, SP, 2010.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades**: Itamabaracá - Paraná. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: < <http://cod.ibge.gov.br/1IJU>> Acesso em 20 jul. 2015.

- IYER, A. M.; WILLS, B. M. D. Factors determining the design of tractor-mounted sprayer booms – spray nozzle characteristics. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 23, n. 1, p. 37-43, 1978.
- KARKEE, M.; STEWARD, B. L.; AZIZ, S. A. Improving quality of public domain digital elevation models through data fusion. **Biosystems Engineering**, v.101, p.293-305, 2008.
- KENNES, P.; RAMON, H.; DE BAERDEMAEKER, J. Modelling the effect of passive vertical suspensions on the dynamic behaviour of sprayer booms. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 72, p. 217-229, 1999.
- LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos**. São Paulo, 226 p, 1998.
- LANDIM, P. M. B. **Sobre Geoestatística e mapas**. *Terrae Didática*. 2(1): pag 19-33, 2006.
- LANGENAKENS, J. et al. The effects of vertical sprayer boom movements on the uniformity of spray distribution. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 74, n. 3, p. 281-291, 1999.
- MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. Curitiba: BADEP: UFPR: IBPT, 1968.
- MACHADO, L. O.; LANA, A. M. Q.; LANA, R. M. Q.; GUIMARÃES, E. C.; FERREIRA, C. V. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em áreas sob sistema plantio convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31:591-599, 2007.
- MAHALINGA, R.; WILLS, B. M. D. Factors determining the design of tractor-mounted booms. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 23, n. 1, p. 37-41, 1978.
- MARCHI, S. R. et al. Degradação luminosa e retenção foliar dos corantes azul brilhante FDC-1 e amarelo tartrasina FDC-5 utilizados como marcadores em pulverizações. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 287-294, 2005.
- MARTIN, M. Z.; LABBÉ, N.; ANDRÉ, N.; WULLSCHLEGER, S. D.; HARRIS, R. H.; EBINGER, M. H. Novel multivariate analysis for soil carbon measurement using Laser-Induced breakdown Spectroscopy. **Soil Science Society of America Journal**, v.74, p.87-93, 2010.
- MATA, J.D.V. da. **Variabilidade espacial de indicadores da compactação de terra roxa estruturada, sob dois sistemas de preparo, cultivada com feijão (*Phaseolus vulgaris L.*) irrigado**. 1997. 73p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1997.

MATUO, T. Fundamentos da tecnologia de aplicação de agrotóxicos. In: GUEDES, J. V. C.; DORNELES, S. H. B. (Org.) **Tecnologia e segurança na aplicação de agrotóxicos**: novas tecnologias. Santa Maria: Departamento de Defesa Sanitária: Sociedade de Agronomia de Santa Maria, 1998.

MCBRATNEY, A. B.; WHELAN, B. M.; ANCEV, T.; BOUMA, J. Future directions of Precision Agriculture. **Precision Agriculture**, v. 6, n. 1, p. 1-17, 2005. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.1007/s11119-005-0681-8>> Acesso em 24 de julho de 2015.

MIGUEL, F. R. M. **Variabilidade espacial de atributos do solo e produtividade em área cultivada com cana-de-açúcar**. 80f., 2010. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical). Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, SP, 2010.

MONTEZANO, Z. F.; CORAZZA, E. J.; MURAOKA, T. Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada e manejada homoganeamente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, n.5, p.839-47, 2006.

OLIVEIRA, J.J.; CHAVES, L.H.G.; QUEIROZ, J.E. & LUNA, J.G. Variabilidade espacial de propriedades químicas em um solo salino-sódico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Solo, 23:783-789, 1999.

OLIVEIRA, R. B. 2007. **Mapeamento e correlação de atributos do solo e de plantas café conilon para fins de agricultura de precisão**. 2007. (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal do Espírito Santo. 129f.

ORTIZ, J. L. 2003. **Emprego do geoprocessamento no estudo da relação entre potencial produtivo de um povoamento de eucalipto e atributos do solo e do relevo**. (Dissertação de Mestrado). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. 205f.

PALLADINI, L. A. **Metodologia para a avaliação da deposição em pulverização**. Botucatu, Universidade Estadual Paulista, 2000. 111 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Proteção de Plantas) Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2000.

PONTELLI, C. O.; MUCHERONI, M. F. Validação do modelo de uma suspensão de barra utilizada em pulverizadores tracionados. **Minerva - Pesquisa e Tecnologia**, v. 6, n. 2, p.189-196, 2009.

PORSKAMP, H. A. J.; VAN ZUYDAM, R. P. Spray booms must not sway. **Landbouw Mechan.** v.43, n.8, p.16-17, 1992.

QUEIROZ, C. A. S. **Uso de videografia digital para avaliação da estabilidade da barra de pulverização em área de florestamento**. 2001. 48 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

REICHARDT, K.; VIEIRA, S.R.; LIBARDI, P.L. Variabilidade espacial de solos e experimentação de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.10, n.1, p.1-6, 1986.

REZENDE, D. T. **Análise comparativa de métodos para quantificação dos depósitos da pulverização em diferentes alvos**. 67 f., 2011. Dissertação (Mestrado em Proteção de Plantas). Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.

ROCHA, J. V.; LAMPARELLI, R. A. C. Do trabalho de campo ao processamento de mapas: um caso prático de agricultura de precisão no Brasil (compact disc). In: Congresso e feira para usuários de geoprocessamento da América Latina - GIS Brasil 98, 4, 1998, Curitiba. **Anais...** Curitiba, 1998.

SARTORI, S. 1985. Pulverizadores para aplicação terrestre tratorizada. In: Simpósio brasileiro sobre tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas, 1985, Jaboticabal. Simpósio brasileiro sobre tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas. **Anais...**Jaboticabal: Funep, 1985, p. 47-79.

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

SMITH, M. P.; ZHU, A. X.; BURT, J. E.; STILES, C. The effects of DEM resolution and neighborhood size on digital soil survey. **Geoderma**, v.155, p.55-66, 2006.

SOUSA JÚNIOR, J. G. A.; DEMATTÊ, J. A. M. Modelo digital de elevação na caracterização de solos desenvolvidos de basalto e material arenítico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.449-456, 2008.

SOUZA, L.S.; COGO, N.P. & VIEIRA, S.R. Variabilidade de fósforo, potássio e matéria orgânica no solo em relação a sistema de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 22:77-86, 1998.

SPEELMAN, L.; JANSEN, J. W. The effect of spray-boom movement on the liquid distribution of field crop sprayers. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 19, p. 117-129, 1974.

VALERIANO, M. M. Mapeamento da declividade em microbacias com Sistemas de Informação Geográfica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, p.303-310, 2003.

VARELLA, C. A. A. **Mapeamento da variabilidade espacial**. IT 190 Princípios em Agricultura de Precisão; Área de Mecanização Agrícola; Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – Departamento de Engenharia Florestal, 2009.

VELINI, E. D. et al. Avaliação da deriva de aplicações aéreas em cana-de-açúcar. In: Simpósio internacional de tecnologia de aplicação de agrotóxicos, 5, 2011,

Sustentabilidade do tratamento fitossanitário: **anais...** Cuiabá: FCA-UNESP; FEPAF, 2011. 1 CD-ROM.

VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H. & SCHAEFER, G.R., eds. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2000. v.1, p.1-54

VIVIANI, E.; MANZATO, G. G. Geração de modelos digitais de superfície por meio de plataformas computacionais com estrutura vetorial e raster. **Ciência e Engenharia**, v.15, p.27-34, 2005.

WILLS, B. G.; COMBELLACK, J. H. Performance characteristics of a ground driven metered boom sprayer. In: CONFERENCE OF AGRICULTURAL ENGINEERING, 1984, Bundaberg, Queensland, **Papers...** p. 132-136.

WOMAC, A. R. et al. Sprayer speed and venturi-nozzle effects on broadcast application uniformity. **Transactions of the ASAE**, v. 44, n. 6, p. 1437-1444, 2001.

ZIMBACK, C. R. L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade**. Botucatu, 2001. 114p. Tese (Livre-Docência em Agronomia) – Faculdades de Ciências Agrárias, Universidade Estadual Paulista.

ZONTA, J. H.; BRANDÃO, Z. N.; MEDEIROS, J. DA C.; SANA, R. S.; SOFIATTI, V. Variabilidade espacial do solo em área cultivada com algodoeiro no Cerrado do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, p.595-602, 2014.