

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

**Influência dos atributos do solo na distribuição espacial de
Sphenophorus levis na cultura da cana-de-açúcar**

Eduardo Aparecido Granso

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
curso de Engenharia Agrônoma da ESALQ-USP,
como parte das exigências para a obtenção do grau
de Bacharelado em Engenharia Agrônoma

**Piracicaba
2017**

Eduardo Aparecido Granso

Influência dos atributos do solo na distribuição espacial de *Sphenophorus levis* na cultura da cana-de-açúcar

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

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Agrônômica da ESALQ-USP, como parte das exigências para a obtenção do grau de Bacharelado em Engenharia Agrônômica

**Piracicaba
2017**

SUMÁRIO

RESUMO.....	4
1. INTRODUÇÃO	5
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
2.1. Cana-de-açúcar.....	7
2.2. <i>Sphenophorus levis</i>	10
2.2.1. Biologia e ciclo reprodutivo.....	10
2.2.2. Flutuação populacional e distribuição espacial	11
2.2.3. Danos à cultura da cana-de-açúcar	12
2.2.4. Monitoramento e controle	13
2.3. Agricultura de Precisão	14
2.4. Amostragens georreferenciadas	15
2.5. Geoestatística.....	18
2.6. Condutividade elétrica do solo.....	19
3. MATERIAL E MÉTODOS	22
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
5. CONCLUSÕES	42
6. REFERÊNCIAS.....	43
7. ANEXOS	52

RESUMO

Influência dos atributos do solo na distribuição espacial de *Sphenophorus levis* na cultura da cana-de-açúcar

O *Sphenophorus levis* é uma das principais pragas da cana-de-açúcar, e vem ganhando importância, devido às expressivas perdas de produtividade na lavoura. O conhecimento da dinâmica populacional desta praga, assim como fatores que podem influenciar sua distribuição espacial são essenciais para sua amostragem a campo e o controle adequado. O objetivo deste trabalho foi explorar possíveis relações entre a distribuição espacial do *S. levis* e os atributos físicos e químicos do solo. O estudo foi conduzido em duas áreas pertencentes à Usina Iracema, em Iracemápolis, SP. Utilizaram-se dados de amostragem de solo e de levantamento de *S. levis* realizados pela usina, e também foram coletados os dados de condutividade elétrica aparente do solo (CEa) e altimetria por meio de um sensor de contato modelo V3100 (Veris Technologies, Salina, Kansas). Os resultados de regressão linear mostraram que não foi possível estabelecer uma relação dos valores dos atributos nos pontos da amostragem de solo com os dados de CEa e a porcentagem de tocos atacados (%TA). Na análise da dependência espacial, a única variável relacionada a praga que foi possível ser caracterizada foi a %TA, além dos dados de CEa e altimetria. Com base no coeficiente de correlações de Pearson para dados interpolados, foi possível observar bons valores de correlação entre a CEa e as variáveis relacionadas ao *S. levis*, sendo possível afirmar que a condutividade elétrica do solo pode representar indiretamente os atributos que influenciam na distribuição espacial da praga, tornando esta ferramenta uma possível aliada no manejo integrado de pragas.

Palavras-chave: agricultura de precisão; condutividade elétrica do solo; geoestatística; bicudo-da-cana; manejo de pragas.

1. INTRODUÇÃO

A cultura da cana-de-açúcar é de grande relevância no cenário mundial, sendo uma das principais matérias-primas para fabricação de açúcar e etanol do planeta. O Brasil é o maior produtor mundial, com quase 10 milhões de hectares de área colhida em 2015, seguido por Índia e China, respectivamente. Na safra 2016/2017, a quantidade de cana-de-açúcar processada na região Centro-Sul foi de 607 milhões de toneladas, sendo produzidos 35,6 milhões de toneladas de açúcar e 25,6 mil metros cúbicos de etanol. O Estado de São Paulo é responsável por mais da metade da moagem, com 366 milhões de toneladas de cana moída. Sua produção de açúcar e etanol correspondeu a cerca de 68% e 51% da produção nacional, respectivamente (UNICA, 2017).

Com a constante expansão das áreas cultivadas com cana-de-açúcar, assim como aumento da colheita mecanizada e conseqüentemente o fim das queimadas, os problemas relacionados à sanidade da cultura tendem a crescer proporcionalmente, principalmente em relação a insetos-pragas (ALMEIDA, 2005). O bicudo da cana-de-açúcar (*Sphenophorus levis* Vaurie) é considerado uma importante praga, com grande potencial de perdas expressivas na cultura. As larvas causam danos diretos nos colmos e nas partes subterrâneas da touceira, podendo causar a morte das plantas, falhas na rebrota e diminuição da produtividade e longevidade do canavial, principalmente no período que compreende os meses de junho a agosto (PRECETTI & ARRIGONI, 1990).

De acordo com Alencar (2016), a distribuição espacial de *S. levis*, assim como os danos causados pelo mesmo, são altamente agregados, independente da época de avaliação ou fase biológica do inseto. Considerando que a distribuição de pragas no solo não ocorre de forma aleatória, é possível investigar a relação de sua incidência com determinados fatores como atributos físicos e químicos. Lourente et al. (2007) encontraram correlação positiva entre a densidade de larvas de Coleoptera e teores de cálcio, potássio, fósforo e matéria orgânica presentes no solo. Os autores observaram que a densidade das larvas tende a ser menor em solos mais densos. Barros et al. (2002) também observaram que insetos da ordem Isoptera demonstraram boa adaptação a solos argilosos e com alta saturação de alumínio.

A agricultura de precisão vem se mostrando como uma ferramenta eficaz nas investigações em relação a avaliações da distribuição espacial e gestão localizada. Segundo Coelho (2005) a agricultura de precisão reconhece a lavoura como ela realmente é, altamente heterogênea, e busca tirar proveito disto e trabalhar a variabilidade espacial e temporal da lavoura. Molin (2001) define a agricultura de precisão como um sistema de gestão ou gerenciamento agrícola baseado na variação espacial das lavouras e que visa a otimização do lucro, sustentabilidade e a proteção do meio ambiente.

Um dos avanços que se espera com a gestão localizada e mais intensa das lavouras é a expansão da oferta de técnicas e tecnologias para o monitoramento e diagnóstico localizado dos fenômenos. Dentre eles, a investigação espacial da ocorrência de insetos-praga pode ser uma peça chave na busca por maiores produtividades. A condutividade elétrica aparente do solo (CEa) é uma dessas tecnologias, que permite a caracterização física do solo de forma qualitativa, de alta resolução e com baixo custo.

A hipótese deste estudo é de que a distribuição espacial de *S. levis* esteja direta ou indiretamente relacionada aos atributos físico e químicos do solo, possibilitando o direcionamento das amostragens utilizando técnicas de mapeamento de solo. Portanto o objetivo deste trabalho é avaliar as correlações espaciais entre os parâmetros de infestação de *S. levis* e os atributos físicos e químicos do solo, assim como caracterizar a distribuição espacial destas variáveis em áreas cultivadas com cana-de-açúcar, procurando estabelecer um padrão de distribuição deste inseto-praga.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) é uma gramínea da família Poaceae, originária da Ásia Meridional, geralmente, cultivada em países tropicais e subtropicais (WALDHEIM et. al., 2006). Seu cultivo é adaptável a diversas condições, sendo possível cultivá-la de 35°N a 30°S, com uma variabilidade de altitude que vai do nível do mar até cerca 1000 metros de altitude (LUCCHESI, 2001). No Brasil, a planta é cultivada principalmente na região Centro-Sul, onde predomina as condições edafoclimáticas mais favoráveis ao seu desenvolvimento (ALENCAR, 2012).

Por possuir metabolismo fotossintético C4, a cana-de-açúcar é uma das espécies com maior eficiência na conversão energética, acumulando biomassa cerca de duas vezes mais que uma planta de metabolismo C3, podendo chegar a fixação de 100 mg de CO₂ por dm³ (ALENCAR, 2012). Tal característica propicia sua classificação como uma planta de comportamento semi-perene, viabilizando uma média de colheita de 4 a 6 cortes no Brasil.

Os estádios de desenvolvimento da cana-de-açúcar são divididos em: brotação, perfilhamento (formação), crescimento dos colmos e maturação. A fase de brotação se estende do plantio até a brotação completa das gemas. Dependendo das condições do solo, inicia-se cerca de 7 a 10 dias após o plantio e dura cerca de 30 a 35 dias. Uma boa brotação reflete um bom começo, que resultará em plantas vigorosas, e que resultará em uma colheita compensadora (SILVA, 2004). Nos primeiros 30 dias, a cana-planta vive da reserva de nutrientes do rebole e parcialmente dos nutrientes absorvidos pelas raízes de fixação. Após esse período inicia-se o desenvolvimento das raízes dos perfilhos primários (CASAGRANDE, 1991). Alguns fatores que influenciam a brotação são a umidade e a temperatura do solo, a saúde das gemas e o estado nutritivo do tolete. Solos bem estruturados facilitam a brotação, sendo 60% um índice aceitável de brotações efetivamente estabelecidas.

O plantio é a prática que mais envolve o conhecimento das relações solo-planta-atmosfera, e a interação entre estes fatores pode ditar o sucesso ou o fracasso de todo o ciclo da cultura. De acordo com Coleti e Stupello (2006), os principais fatores envolvendo as operações de plantio são o espaçamento entre fileiras, a profundidade do sulco, a época de plantio, e quantidade de mudas e os cuidados necessários que envolvem essas operações. Esta etapa inicial exige um bom planejamento e conhecimento técnico avançado, uma vez que o processo de plantio destaca-se pelos elevados custos envolvidos. As decisões tomadas irão influenciar todo o ciclo produtivo.

A escolha da época de plantio é de extrema importância para o bom desenvolvimento da cultura. A cana-de-açúcar pode ser plantada em três épocas diferentes: sistema de ano-e-meio, sistema de ano e plantio de inverno. No sistema de ano-e-meio a cana-de-açúcar é plantada entre janeiro e março. Este período é considerado ideal para o plantio, pois apresenta boas condições de temperatura e umidade, possibilitando brotação rápida e reduz a incidência de doenças no tolete. No sistema de ano, o plantio é realizado de setembro a dezembro. Neste sistema, a cana apresenta menores produtividades. Isso ocorre por ela ter que enfrentar o período de seca com muitos colmos formados, acarretando em entrenós curtos. Já no sistema de inverno, a cana é plantada de maio a agosto, e normalmente requer irrigação. Sua produtividade é alta, principalmente devido ao maior período vegetativo (14 a 15 meses).

No perfilhamento é definido o número de colmos necessários para uma boa produção. Esta fase inicia-se por volta de 40 dias depois do plantio e pode durar até 120 dias (SANTOS et al., 2009), dependendo da variedade utilizada, luminosidade, temperatura, umidade do solo e adubação. Nesta etapa, a luminosidade é o fator mais importante. Quanto mais cedo se formam os perfilhos, mais grossos e pesados serão os colmos. Uma população estável de perfilhos é estabelecida por volta de 150 a 180 dias.

A fase de crescimento dos colmos começa 120 dias após o plantio e termina em torno de 240 dias (Santos et al., 2009). Durante esta etapa ocorre a formação e o alongamento dos colmos, e alcança-se um índice de área foliar (IAF) entre 6 e 7 para cana planta, sem restrição hídrica, e de 4 a 4,5 para primeiro e segundo corte de cana soca (TERUEL et al., 1997). Xavier e Vetorazzi (2004) relacionaram o IAF com dados de NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) por meio de

imagens de satélite em áreas de cana-de-açúcar, pasto, milho, eucalipto e floresta ripária. Os autores obtiveram um coeficiente de determinação (r^2) IAF-NDVI de 0,72.

A maturação dura em torno de três meses, iniciando-se aos 240 a 360 dias após o plantio (SANTOS et al., 2009). É nesta fase que ocorre o acúmulo de açúcar e o crescimento vegetativo é reduzido. Temperaturas inferiores a 21° C são favoráveis durante este estágio, pois reduzem a taxa de alongamento dos colmos e promovem o acúmulo de sacarose (MAGALHÃES, 1987).

Em relação a tratos culturais, as principais operações de trato de soqueira são: enleiramento do palhicho, cultivo e adubação de soqueiras e aplicação de herbicidas. Segundo Alvarenga & Queiroz (2008), a torta de filtro e a vinhaça podem substituir adubos químicos e diminuir custos em até US\$ 60 por hectare. A torta de filtro apresenta altos teores de matéria orgânica, fósforo, nitrogênio, cálcio, e teores consideráveis de potássio e magnésio (NUNES JÚNIOR, 2005). A vinhaça apresenta em maior quantidade a matéria orgânica, mas também apresenta quantidades apreciáveis de potássio e médios de cálcio e magnésio (ROSSETTO, 1987).

Dentre os diversos fatores capazes de afetar negativamente a produção de cana-de-açúcar no Brasil, os ataques de pragas na cultura podem representar até 20% do prejuízo causado pela perda de produção (D'AGOSTINI et al., 2011), além disso, comprometem a capacidade de rebrota da cana, e a conforme as áreas de plantio se expandem, ocorre um aumento proporcional dos problemas relacionados a estes insetos (ALMEIDA, 2005). De acordo com Dinardo-Miranda (2008), os fatores de maior relevância que definem a importância de uma praga são as condições edafoclimática da região cultivada, o ano agrícola e práticas de conduzidas na lavoura.

Dentre as pragas de maior importância encontra-se a broca-da-cana, *Diatrea saccharalis* (FABRICIUS, 1794), que ataca o colmo, fazendo com que haja perda de peso, morte da gema apical, causando falhas na germinação (BOTELHO; MONTEIRO, 2011); a broca-gigante, *Telchin licus* (DRURY, 1773), com danos semelhantes ao da broca-da-cana, facilitando a penetração de fungos e podendo levar a morte da planta (VILLAS BOAS; ALVES, 1988); a cigarrinha das raízes, *Mahanarva* spp, que se alimentam da seiva, e introduzem toxinas durante a

sucção, levando a perda de produção de sacarose em até 30% (ALMEIDA; STINGEL; ARRIGONI, 2008).

Um dos grupos de pragas considerados de mais difícil controle são as pragas de solo. Por se encontrarem protegidas pela camada de solo ou dentro das touceiras de cana, elas só são observadas quando se evidenciam os sintomas de ataque. As pragas de solo mais importante na cana-de-açúcar são *Migdolus fryanus* e *Sphenophorus levis* (DINARDO-MIRANDA, 2008).

2.2. *Sphenophorus levis*

2.2.1. Biologia e ciclo reprodutivo

O *Sphenophorus levis* Vaurie, popularmente conhecido como bicudo-da-cana, ou gorgulho da cana-de-açúcar, é um inseto pertencente à superfamília Curculionidea, família Curculionidae e subfamília Dryophthorinae (MARVALDI; LANTERNI, 2005). Seus primeiros registros foram realizados na região de Piracicaba-SP, entre a década de 1970 e 1980 (Precetti; Arrigoni, 1990). Além do estado de São Paulo, atualmente há relatos de ocorrência nos estados do Paraná, Santa Catarina, Minas Gerais (GIRÓN-PEREZ, 2009) e Mato Grosso do Sul (MORAES; ÁVILA, 2013).

O ciclo biológico do *Sphenophorus levis* pode variar de 58 a 307 dias, com uma média de 173,2 dias, em condições de laboratório. Barreto-Triana (2009) afirma que o acasalamento ocorre em qualquer horário, tendo como período ótimo para reprodução entre os 21 e 35 dias após a emergência.

A postura dos ovos ocorre na base das brotações, abaixo do nível do solo. A fêmea perfura a casca do colmo e perfilhos e insere os ovos de forma individualizada, chegando a uma profundidade de até 4 mm. Os ovos possuem coloração branco-leitosa no início, e tornam-se amarelo-escuros quando chegam próximos à eclosão das larvas (DEGASPARI et al., 1987).

Na fase inicial, a larva possui coloração branco-leitosa e posteriormente torna-se amarelada com uma mancha castanho escura na região da cabeça (Degaspari et al., 1987). Segundo Precetti; Arrigoni (1990) o período larval dura cerca de 50 dias, com variação entre 30 a 60 dias, com uma viabilidade média de 36%. A larva abre galerias no colmo da cana-de-açúcar, alimentando-se do mesmo, e deixando uma serragem fina. Próximo à fase de pupa, a larva cessa seus movimentos e

diminui de tamanho (PRECETTI; ARRIGONI, 1990). O período pupal possui uma duração de aproximadamente 10,5 dias e tem coloração inicial branco-leitosa, chegando a castanho quando próximo da emergência (DEGASPARI et al., 1987).

Os adultos se localizam abaixo do nível do solo e possuem coloração castanho-escuro a marrom, com listras longitudinais sobre os élitros e manchas pretas no tórax. Sua razão sexual é de 1:1 fêmea por macho em laboratório e 1,5:1 em campo. O macho normalmente é menor que a fêmea, possuindo $9,70 \text{ mm} \pm 0,10 \text{ mm}$ de comprimento, enquanto que a fêmea mede $11,90 \text{ mm} \pm 0,10 \text{ mm}$ (DEGASPARI et al., 1987).

2.2.2. Flutuação populacional e distribuição espacial

Os picos populacionais do adulto são divididos em duas épocas distintas. O principal se dá entre fevereiro e março, e o outro, de intensidade mais baixa, entre outubro e dezembro. No caso das larvas, ocorre um pico em dezembro e outro de maior intensidade entre julho e junho. Já as pupas, os picos ocorrem de dezembro a janeiro e de agosto a setembro (PRECETTI; ARRIGONI, 1990).

Degaspari et al. (1987) verificaram que o *S. levis* possui baixíssima taxa de migração ou movimentação ao longo de um ano, deslocando-se em média de 6 a 11 metros de raio ao redor da touceira atacada. De acordo com Alencar (2016) a distribuição espacial do *S. levis* se dá de forma altamente agregada, independente da fase biológica do inseto ou da época de avaliação. Assim como a praga, os danos causados no rizoma também possuem alta agregação, o que facilita a sua amostragem.

Pavlu e Molin (2016) estudaram a distribuição espacial de *S. levis* através da geoestatística e também verificaram a distribuição contagiosa da praga. Isso ocorre em outras espécies do gênero *Sphenophorus*, como estudado por Reyes (2015) e Perez-De La O (2014), que verificaram a distribuição agregada do *S. incurrens*, o gorgulho da cana-de-açúcar do México. Segundo Canassa (2005) áreas com histórico de alta infestação facilitam o estudo da agregação da mesma.

Izeppi (2005) avaliou os valores do alcance da dependência espacial em relação ao número de cortes de um canavial. No 1º corte, o alcance médio foi de 21 m, aumentando para 26, 37 e 56 m, para os 2º, 3º e 4º cortes, respectivamente. O autor verificou que, com o passar do tempo as reboleiras tendem a aumentar, em

virtude do aumento da população do inseto, o que explica o alcance maior nos últimos cortes.

2.2.3. Danos à cultura da cana-de-açúcar

As larvas de *S. levis* abrem galerias na parte basal do colmo, consequentemente causando a morte das touceiras de cana-de-açúcar e ocorrendo falhas na rebrota. Dependendo do nível de infestação, pode-se inviabilizar a colheita da área. Em algumas áreas estudadas no estado de São Paulo, foram observados ataques de *S. levis* em cerca de 50% a 60% dos perfilhos, resultando em perda de 20 a 30 toneladas por ha/ano (DEGASPARI et al., 1987).

Apesar de possuir uma baixa taxa de dispersão, sua ocorrência tem aumentado significativamente. Uma das principais hipóteses para explicar esta expansão é de que a sua disseminação está ocorrendo por meio do trânsito de mudas infestadas (LEITE et al., 2005). Os insetos podem se transportar tanto no interior dos colmos, através de galerias feitas nos primeiros entrenós, como entre os colmos, uma vez que os adultos frequentemente se alojam neste local devido à atração pela exsudação do caldo (DINARDO-MIRANDA, 2005).

Os sintomas do ataque são claramente perceptíveis na época seca do ano (junho a agosto), onde começam a ficar visíveis os perfilhos e brotos mortos através do secamento progressivo das folhas, o que pode ser confundido com fitotoxicidade de herbicidas, seca prolonga, dano mecânico ou aplicação excessiva de vinhaça (PRECETTI; ARRIGONI, 1990). Indiretamente, de acordo com o número de falhas na rebrota, pode-se favorecer o aparecimento de plantas invasoras no local (DINARDO-MIRANDA, 2005).

2.2.4. Monitoramento e controle

O levantamento populacional de *S. levis* pode ser realizado de diferentes formas. De acordo com o procedimento adotado pelo Centro de Tecnologia Canaveira (CTC), o mesmo deve ser feito preferencialmente na época de maior ocorrência das larvas e pupas (de maio a setembro), e consiste na abertura de duas trincheiras de dimensões 0,5 x 0,5 x 0,3 m por hectare e coleta das formas biológicas que se encontram em cada ponto amostral (Almeida; Stingel, 2005).

No monitoramento da forma adulta do *S. levis* utilizam-se iscas tóxicas feitas com toletes de cana com 30 cm rachados ao meio e imersos em solução de inseticida por 24 horas. São distribuídas 100 iscas por hectare, que são colocadas na base da soqueiras e cobertas com palha, renovando-as a cada 20 dias (DEGASPARI et al., 1987; PRECETTI; ARRIGONI, 1990). A época ideal para esta amostragem é de outubro a março, que coincide com a maior ocorrência do adulto. Recomenda-se realizar em áreas de viveiro para prevenção de propagação de mudas infestadas pela praga (PRECETTI. ARRIGONI, 1990; DINARDO-MIRANDA, 2005).

Segundo Pavlu e Molin (2016), cada unidade produtora vem utilizando seus próprios critérios de avaliação e utilizando os que melhor se adequem aos métodos de controle em função da infestação da praga e da idade do canavial.

Para o controle do *S. levis* é essencial que sejam empregadas diversas medidas em conjunto, a fim de aumentar sua eficiência. A destruição mecânica da soqueira deve ser realizada de preferência no período mais seco do ano, onde a praga se encontra na fase larval. Sua finalidade é destruir e expor a praga a seus predadores e causar o secamento dos rizomas (PRECETTI; ARRIGONI, 1990). Em áreas com alta infestação faz-se necessário o uso do controle químico, através da aplicação de inseticidas no sulco de plantio e também na soqueira (DINARDO-MIRANDA, 2008).

2.3. Agricultura de Precisão

De acordo com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), a Agricultura de Precisão (AP) é definida como “um sistema de gerenciamento agrícola baseado na variação espacial e temporal da unidade produtiva e visa o aumento de retorno econômico, à sustentabilidade e à minimização do efeito ao ambiente” (BRASIL, 2012, p. 6).

Molin et al. (2015) afirmam que o termo “agricultura de precisão” é baseado na premissa de que um sistema produtivo possui variabilidade espacial e temporal, portanto, faz-se necessário o desenvolvimento de estratégias de gerenciamento que contemplem este fator, a fim de minimizar os problemas advindos do mesmo.

Mantovani et al. (1998) define agricultura de precisão como sendo uma tecnologia em que o objetivo principal consiste em aumentar a eficiência, com base no manejo diferenciado das áreas. Além disso, os autores afirmam que as técnicas de agricultura de precisão devem ser compreendidas como uma forma de manejo sustentável, sem que ocorram prejuízos às reservas naturais e danos ao meio ambiente.

Para Roza (2000), a agricultura de precisão é uma filosofia de gerenciamento agrícola que parte de informações exatas, precisas e se completa com decisões exatas. Ela é vista com uma maneira de gerir o campo produtivo metro a metro, considerando que cada parcela de área tem propriedades distintas.

O entendimento da variabilidade da lavoura já era do conhecimento de agricultores há muito tempo, onde Linsley e Bauer (1929) já sugeriam amostragem de solo em malhas de 100 m por 100 m para determinação da necessidade de aplicação diferenciada de calcário e eram reconhecidos os benefícios da aplicação diferenciada de esterco e material calcário de acordo com o tipo de solo (Kellogg, 1957). Vale lembrar que a agricultura praticada nesta época era potencialmente familiar e em pequenas propriedades, e mesmo antes do surgimento do termo “agricultura de precisão”, o agricultor, maior conhecedor de sua lavoura, observando temporalmente a variabilidade em sua produção, já praticava este gerenciamento.

Fortin e Pierce (1998) agrupam as tecnologias de agricultura de precisão disponíveis em seis principais categorias: (i) Computadores e programas; (ii)

Sistema de posicionamento global (GPS); (iii) Sistemas de Informação Geográfica (SIG); (iv) Sensoriamento Remoto; (v) Sensores e (vi) Controladores eletrônicos de aplicação. Tais tecnologias não foram desenvolvidas para atender a agricultura, porém esta integração possibilitou realizar atividades com altos níveis de detalhamento e qualidade.

É sabido que a prática da agricultura de precisão teve grande ascensão e popularização devido à desativação do sistema de disponibilidade seletiva (S/A) no sinal de GPS de uso civil pelo governo norte-americano a partir de maio do ano de 2000, onde a acurácia dos sinais variava de 60 a 100m, sendo que 60% desta inacurácia provinham da S/A (SEARCY, 2001). Com isso surgiram as primeiras empresas especializadas de consultoria e serviços. Posteriormente as barras de luzes começaram a equipar os aviões agrícolas da época e surgira o sistema de direção automática (MOLIN et al., 2015).

Molin et al. (2015) relatam que a área da Tecnologia da Informação (TI), vem sendo constantemente englobada no segmento agrícola. Sendo assim, Ting et al. (2011) citado por Molin et al. (2015), afirmam que a AP pode ser compreendida como a aplicação da TI durante as etapas de condução da lavoura. Nesse sentido, a agricultura de precisão depende das etapas de aquisição, manejo, processamento e análise de uma grande quantidade de dados que possuem variabilidade espacial e temporal (COELHO, 2005).

2.4. Amostragens georreferenciadas

Uma das ferramentas mais utilizadas atualmente para a tomada de decisão na gestão da variabilidade espacial da lavoura é a amostragem georreferenciada. É por meio dela que é possível realizar o levantamento das informações de uma área, de modo a embasar as intervenções agronômicas. O principal objetivo da amostragem é a representação estatística de um todo baseada nas informações de apenas uma porção dele. Segundo Molin (2015) a amostragem se aplica à investigação de diversos fatores de produção, como amostragem de solo, para avaliação dos atributos físicos e químicos; de tecido vegetal, a fim de se avaliar o

estado nutricional da planta, e também a ocorrência de pragas ou doenças para se determinar a fitossanidade da lavoura.

Para Schiffman e Kanuk (2000) citados por Oliveira (2001), as decisões que definem um plano de amostragem passam pela definição de três parâmetros: o que será pesquisado (unidade de amostragem), quanto será pesquisado (tamanho da amostra) e como será selecionado (procedimento de amostragem). A qualidade do mapa final bem como a confiabilidade na informação espacial que ele fornece está diretamente relacionados com a escolha da densidade amostral.

Knob (2006), estudando a variabilidade espacial horizontal dos atributos do solo através de mapas de fertilidade, afirma que quanto maior o nível de detalhamento amostral dos atributos químicos do solo, maior será a precisão dos mapas gerados, o que resultará numa maior confiabilidade da representação espacial gerada por eles. Por outro lado, o custo elevado e o trabalho demandado por amostragens mais intensas se tornam fatores limitantes na escolha da densidade amostral a ser utilizada.

Pesquisas em busca de um nível aceitável de densidade amostral para caracterizar atributos do solo (Cherubin et al., 2015; Caon & Genú, 2013) vem sendo realizadas com o intuito de se estabelecer uma grade amostral que melhor defina a variabilidade real dos atributos. Cherubin et al. (2015) conduziram um estudo em áreas de Latossolo Vermelho, no Rio Grande do Sul e apontam que malhas amostrais de 100 x 100 m são recomendadas para planos de amostragem de solo adotados naquela região. Caon & Genú (2013), procurando estabelecer uma densidade amostral com precisão para áreas de cultivo de soja em Guarapuava-PR também observaram bons níveis de exatidão para uma densidade de uma amostra por hectare.

Em relação à amostragem georreferenciada de pragas agrícolas, é importante destacar que para que análise da variabilidade espacial do alvo estudado seja confiável é necessário que se compreenda a biologia do inseto-praga e relacione suas adaptações às diferentes condições ambientais e mudanças comportamentais que ocorram ao longo do ciclo. A distribuição de uma população de insetos é indispensável para o desenvolvimento de protocolos de amostragem eficientes (TERRY et al., 1989).

Pavlu e Molin (2016) estudaram a distribuição espacial de *S. levis* em cana-de-açúcar por meio de análise geoestatística a fim de propor plano de amostragem

que caracterizasse com confiabilidade a distribuição da praga. Os resultados de dependência espacial obtidos pela amostragem de 17 pontos por hectare se mostraram representativos para a realização da amostragem georreferenciada.

Riffel (2012) avaliou a influência da densidade amostral no monitoramento de lagartas desfolhadoras (*A. gemmatilis* e *P. includens*) na cultura da soja por meio de três malhas amostrais regulares (0,50 x 0,50 m, 0,71 x 0,71 m e 1,0 x 1,0 m) e observou dependência espacial moderada em todos os casos, indicando que estas densidades se mostraram adequadas para caracterizar a distribuição espacial das lagartas.

2.5. Geoestatística

A principal função da geoestatística é a caracterização espacial de uma variável de interesse. Esta caracterização é realizada por meio do estudo da distribuição e variabilidade espaciais, com determinação das incertezas associadas (YAMAMOTO & LANDIM, 2015).

Os primeiros estudos envolvendo a geoestatística foram concebidos pelo engenheiro de minas Daniel G. Krige e o estatístico H. S. Sichel, na África do Sul, que desenvolveram de forma empírica uma técnica de estimativa para o cálculo de reservas minerais, que posteriormente foi dado o nome de *Geoestatística* pelo matemático francês G. Matheron (CAMARGO, 1998).

Desde o início do século passado, pesquisadores vêm se preocupando com a variabilidade espacial de algumas características do solo (MONTGOMERY, 1913; WAYNICK & SHARP, 1918; HARRIS, 1920). Na época, os procedimentos utilizavam grandes quantidade de dados amostrais e se baseavam na estatística clássica, utilizando de parâmetros como média e desvio padrão e considerando que as variações de um local para outro são aleatórias (CAMARGO, 1998). Este tipo de hipótese porém, não pode ser feita sem que se prove a não correlação espacial. Um dos principais métodos de se estimar a dependência espacial é o semivariograma (VIEIRA, 2000).

O semivariograma é uma ferramenta geoestatística que expressa o grau de dependência espacial entre amostras dentro de um campo experimental e permite a estimativa dos parâmetros onde os valores não amostrados são estimados por meio da técnica de interpolação conhecida como krigagem, que permite a construção de mapas de isolinhas ou tridimensionais para exame e interpretação da variabilidade espacial (VIEIRA, 2000; CARVALHO et al., 2002). O semivariograma representa uma função de semivariâncias em relação as respectivas distância. A semivariância é definida como a metade da variância de diferenças entre observações de uma variável aleatória Z , separadas por uma distância h . Dessa forma, valores baixos indicam menor variabilidade (MELLO, 2004).

A krigagem é um método de inferência espacial utilizado na geoestatística para estimar valores de uma propriedade em locais onde esta propriedade não foi

amostrada, considerando a dependência espacial definida pelo semivariograma. A estimativa de valores para locais não amostrados por meio da krigagem permite estabelecer mapas temáticos da área em estudo que podem ter grande utilidade no planejamento experimental (SOUZA, 1992).

2.6. Condutividade elétrica do solo

A habilidade que um determinado material possui em conduzir eletricidade é denominada de condutividade elétrica (CE), que é representada pela sua unidade padrão siemens por metro ($S\ m^{-1}$). O solo tem a capacidade de conduzir corrente elétrica através dos eletrólitos dissolvidos na solução do solo e de cátions trocáveis próximos a superfícies com partículas carregadas e eletricamente móveis em vários níveis (Molin; Faulin, 2013). A condutividade elétrica do solo pode ser utilizada como um indicador indireto de várias propriedades físicas e químicas do solo (SUDDUTH et al., 2005).

A condutividade elétrica aparente (CEa) do solo, é a mensuração da CE por meio de sensores realizada no momento da avaliação, onde é possível aferir este parâmetro de acordo com as condições presentes do solo em questão (MOLIN, 2015). Alguns fatores podem afetar a CEa, como salinidade do solo, teor de argila, capacidade de troca catiônica (CTC), mineralogia da argila, tamanho e distribuição dos poros do solo, e teor de umidade do solo (MCNEILL, 1992; RHOADES et al., 1999).

Existem pelo menos dois métodos de medição da CEa do solo: por indução eletromagnética e por contato direto com o solo. O primeiro método consiste basicamente em duas bobinas suspensas próximas a superfície do solo. Uma delas gera um campo eletromagnético, induzindo corrente elétrica no solo, e a outra é excitada pela corrente, permitindo a mensuração da CEa daquele local. Uma grande vantagem deste método é o fato dele ser uma ferramenta não invasiva, ou seja, o sensor não entra em contato com o solo. No segundo método, como o próprio nome define, o sensor é composto por quatro eletrodos inseridos diretamente no solo. Dois eletrodos são alimentados por corrente elétrica e os outros dois são responsáveis por medir a diferença de potencial resultante desta

corrente. Quanto maior a distância entre os eletrodos, maior é o raio de mensuração e consequentemente maior a profundidade alcançada (MOLIN, 2015).

As primeiras aplicações da CEa na agricultura remetem a década de 1970, em estudos para a medição da salinidade dos solos feitos por Rhoades et. al (1977). O fator predominante para o acúmulo de sais é a perda de água por evapotranspiração, que pode ocasionar redução no crescimento de plantas, reduzindo o potencial osmótico e comprometendo a sua absorção de água (CORWIN; Lesch, 2005).

Grego et al. (2011) realizaram um estudo com o objetivo de verificar a variabilidade espacial da CEa e da declividade do solo sob um sistema de plantio direto em cana-de-açúcar. Os autores concluíram que a variabilidade espacial da CEa se assemelha as diferenças de altitude do terreno, mostrando-se como um fator útil para diagnóstico de característica do solo e da planta que variam conforma a topografia.

Sudduth et al. (2005), utilizando um sensor de indução eletromagnética (Geonics EM38) e um sensor de contato direto (Veris 3100) em 12 áreas espalhadas por seis estados dos EUA, estudaram a relação entre a CEa e os atributos físico-químicos dos solos. Os autores verificaram uma alta correlação da CEa com conteúdo de argila e CTC em todos os solos avaliados. Molin e Rabello (2011) também obtiveram valores satisfatórios de correlação da CEa com o conteúdo de argila e com teor de umidade do solo, utilizando um sensor de contato modelo Veris 3100, evidenciando o potencial de utilização da CEa como uma ferramenta para caracterização física dos solos.

Brandão et al. (2011) estudaram a correlação da CEa com o pH dos solos nos cerrados de Goiás e encontraram boa similaridade entre os mapas de CEa e de pH, concluindo sua eficácia na caracterização da variabilidade e estimador do pH e acidez potencial dos solos no Cerrado.

Perez et al. (2011) realizaram um trabalho da investigação da variabilidade espaço-temporal em sistemas de integração lavoura-pecuária, onde observaram um maior padrão de reinfestação de capim-annoni (*Eragrostis plana* Nees) em locais associados a maiores valores de CEa.

Sanches et al. (2013) estudaram a influência da CEa na variabilidade espacial dos atributos do solo visando o a utilização de um número reduzido de amostragem a partir do direcionamento das mesmas de acordo com a CEa, numa área de 50 ha

cultivada com cana-de-açúcar. Os resultados indicaram a possibilidade de obtenção de mapas de recomendação de adubação utilizando os dados de CEa como base para interpolação por krigagem.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em duas áreas pertencentes à Usina Iracema, localizada no município de Iracemápolis (-22.582365, -47.530471), Estado de São Paulo. O clima da região é caracterizado como tropical de altitude (Cwa) segundo a escala de classificação climática de Köppen-Geiger.

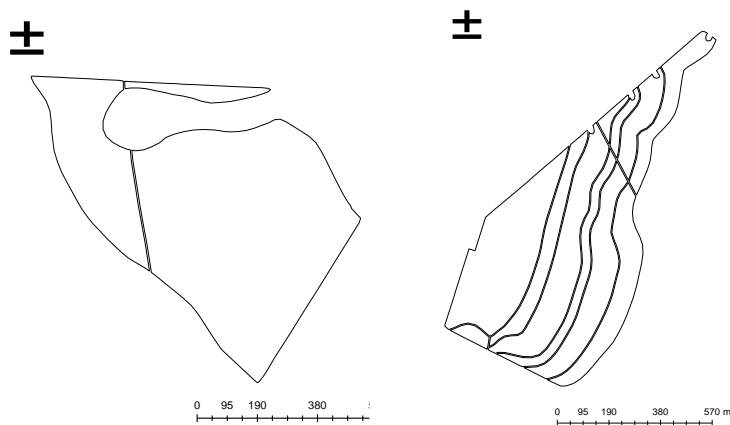


Figura 1. Croqui das áreas A (esquerda) e B (direita) pertencentes à Usina Iracema, localizada em Iracemápolis-SP.

A primeira área (A) possui 49,84 ha, com coordenada central -22.580418, -47.539134. O solo foi caracterizado como LVe (latossolo vermelho eutrófico, textura argilosa) pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2013) e ambiente de produção A, de acordo com a classificação do Centro de Tecnologia Canaveira (CTC). Está sendo cultivada com a variedade CTC11, de maturação tardia, atualmente no 6º corte. O plantio foi realizado do dia 20/12/2011 ao dia 23/12/2011 no sistema mecânico, totalizando 44,98 ha, e posteriormente, do 29/12/2011 ao dia 07/02/2012 no sistema manual, em uma área de 4,86 ha. A colheita ocorreu entre os dias 27/05/2017 e 04/06/2017, com uma produtividade média de 97 t ha⁻¹.

A segunda área (B) possui 49,57 ha, com coordenada central -22.552362, -47.633913. O solo foi caracterizado como LVAa (latossolo vermelho-amarelo, álico, textura média) pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2013) e

ambiente de produção D. Está sendo cultivada com a variedade CTC2, de maturação média, atualmente no 7º corte. O plantio foi realizado entre os dias 30/03/2011 e 01/04/2012 no sistema mecanizado, num total de 46,35 ha e no dia 10/02/2012 no sistema manual, totalizando 3,22 ha. A colheita ocorreu entre os dias 15/07/2017 e 26/07/2017, com uma produtividade de 55 t.ha⁻¹.

Os dados de análises de solo foram retirados da base de dados da própria usina. As amostragens de ambas as áreas são referentes ao ano de 2017. Foram coletadas 9 amostras da área A e 10 amostras da área B, na camada de 0 a 25 cm. A atividade é feita por um quadriciclo Honda® TRX 420 FM equipados com kit amostrador SACI® Trail Comando Manual, numa densidade amostral de uma amostra a cada cinco hectares. Cada amostra é composta por quatro sub amostras coletadas num raio de 10 m do ponto georreferenciado. As profundidades amostradas são de 0 a 25 cm e de 25 a 50 cm. As amostras são identificadas e enviadas para análise ao laboratório agrícola da empresa, localizado na Usina São Martinho, em Pradópolis-SP.

O levantamento de *S. levis* foi realizado por uma equipe de 22 pessoas, responsáveis pelo monitoramento de pragas da própria usina. Os dados foram coletados nos dias 31/05/2017, 20/06/2017 e 04/07/2017 para a área A e no dia 14/08/2017 para a área B.

A amostragem é feita numa densidade de aproximadamente 9 pontos por hectare. A partir do vértice do talhão, são contadas 22 ruas de cana e desloca-se 8 m (10 passos) para dentro da 22ª rua, fazendo a coleta do primeiro ponto. Após a primeira coleta, desloca-se 16 m (20 passos) e faz-se a segunda coleta, seguindo a distância de 16 m até o fim da rua. A partir da primeira rua amostrada, conta-se mais 44 ruas e adentra-se na 44ª rua, repetindo todo o processo, sendo o primeiro ponto amostral a 8 m de distância, e os demais a 16 m de distância até o fim da rua, deslocando-se 44 ruas até o fim do talhão. A figura 2 ilustra como é o deslocamento da equipe de amostragem no campo.

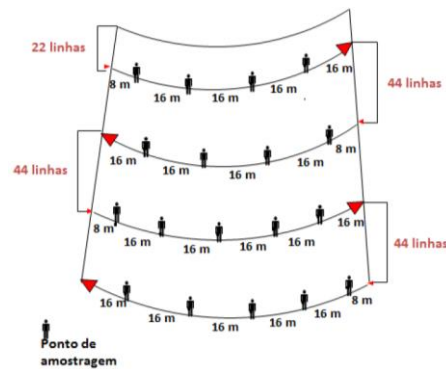


Figura 2. Esquema de deslocamento no talhão para a amostragem de *S. levis*.

Em cada ponto amostral é feita uma trincheira de 0,5 x 0,5 m (0,25 m²) e são retiradas todas as soqueiras existentes. Os perfilhos são cortados no sentido longitudinal para a quantificação de quantos estão danificados, classificando-os como “tocos totais” e “tocos atacados”. São identificadas também as diferentes formas biológicas da praga (larvas, pupas e adultos) e a porcentagem de tocos atacados (%TA), obtida pela relação percentual entre “tocos totais” e “tocos atacados”. Todas as informações coletadas são inseridas num tablet e posteriormente descarregada para a base de dados da usina.



Figura 3. Trincheira aberta para amostragem (esquerda); Toco atacado por larva de *S. levis* (centro); Amostrador registrando os dados no coletor de dados (tablet) (direita).

Além dos dados fornecidos pela usina, utilizou-se um sensor de condutividade elétrica do solo modelo V3100 (Veris Technologies, Salina, Kansas) tracionado por um trator CASE MX150 e conectado a um coletor de dados e um receptor GNSS Garmin modelo 18x LVC. As leituras foram realizadas no dia 27/07/2017 na área A e no dia 31/07/2017 na área B.



Figura 4. Sensor de condutividade elétrica de contato modelo V3100 (Veris Technologies, Salina, Kansas) acoplado a um trator CASE MX 150 pertencente à usina.

O equipamento é composto por seis discos rotativos dispostos lado a lado que entram em contato com o solo a uma profundidade de aproximadamente 7,0 cm, o que garante contato elétrico. Seu funcionamento consiste na emissão de uma corrente elétrica pelos dois discos intermediários, enquanto os dois discos internos e dois discos externos detectam a diferença de potencial. O par de discos internos integra a resistência entre as profundidades de 0 a 30 cm, enquanto o par de discos externos integra a resistência de 0 a 90 cm.

Após a etapa de coleta, procedeu-se a estatística descritiva (máximo, mínimo, média, variância, desvio padrão, coeficiente de variação e curtose) para os dados de amostragem de solo, levantamento de *S. levis* e CEa do solo. No caso da condutividade elétrica, devido ao alto número de dados coletados, os mesmos foram submetidos a um pré-tratamento, com o objetivo de se remover possíveis valores discrepantes e ruídos causados pelo sensor. Para isso, primeiramente foram retirados os valores de leitura negativos. Após a remoção, foi utilizada ferramenta Cluster and Outlier Analysis, do software ArcGIS 10.4.1 (ESRI, Environmental Systems Research Institute, Redlands, CA, USA), que identifica os agrupamentos espaciais de dados com valores altos ou baixos. A ferramenta também identifica valores discrepantes (outliers) espaciais. Para fazer isso, a ferramenta calcula um valor local de Moran, um escore z, um pseudo p-valor e um código que representa o

tipo de cluster para cada característica estatisticamente significativa. Os escores z e pseudo p -valores representam a significância estatística dos valores do índice calculado, sendo que para o intervalo de confiança utilizado (95%) os dados removidos foram os que obtiveram valores de escore z menores que -1,96 e maiores que 1,96, assim como os que obtiveram um p -valor menor que 0,05. Após a filtragem dos dados, foi realizada uma nova estatística descritiva a partir dos valores limpos.

A partir dos dados da amostragem de solo, foram conduzidas as análises de regressão linear dos atributos do solo (MO, CTC, Argila, K^+ e pH) com as variáveis %TA e CEa. Para isso, foi determinado um raio de 40 m ao redor dos pontos de amostragem de solo, e calculadas as médias de %TA e CEa que se encontravam dentro desta região.

Procedeu-se com as análises geoestatísticas dos dados de amostragem de *S. levis* (larva – LA; pupa – PU; adulto – AD; porcentagem de tocos atacados - %TA), altimetria e CEa do solo. Utilizou-se o software R 3.4.2 para a construção dos semivariogramas, ajuste dos modelos e interpolação dos dados. Foram obtidos os parâmetros: efeito pepita (C_0), patamar (C_1) e alcance (A). Para a análise da dependência espacial foi utilizado o método de classificação proposto por Cambardella et al. (1994), onde se calcula o grau de dependência espacial (GDE) por meio da relação $C_0 / (C_0 + C_1)$, que considera a dependência espacial forte quando esta relação é menor que 0,25, moderada quando se encontra entre 0,25 e 0,75 e fraca quando for maior que 0,75. Para a interpolação dos dados referentes à amostragem de *S. levis* foi escolhido o método de interpolação por Spline. O método do Spline é um método de interpolação que estima valores usando uma função matemática que minimiza a curvatura da superfície resultando em uma superfície suave que passa exatamente pelos pontos de entrada. Em relação aos dados de CEa do solo e altimetria, optou-se por utilizar o método de interpolação por krigagem. Os mapas temáticos foram gerados pelo software ArcGIS 10.4.1 (ESRI, Environmental Systems Research Institute, Redlands, CA, USA).

Por fim, os dados de CEa, altimetria e de *S. levis* (LA, PU, AD e %TA) foram correlacionados entre si para determinar a influência da CEa e altimetria na distribuição espacial da praga no solo. Foram geradas as Matrizes de Correlação de Pearson utilizando o software R 3.4.2

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 5 representa a grade amostral das análises de solo das áreas A e B. A densidade amostral praticada pela usina é de 1 amostra a cada 5 hectares. Ambas as áreas possuem um total de 10 pontos de amostragem.

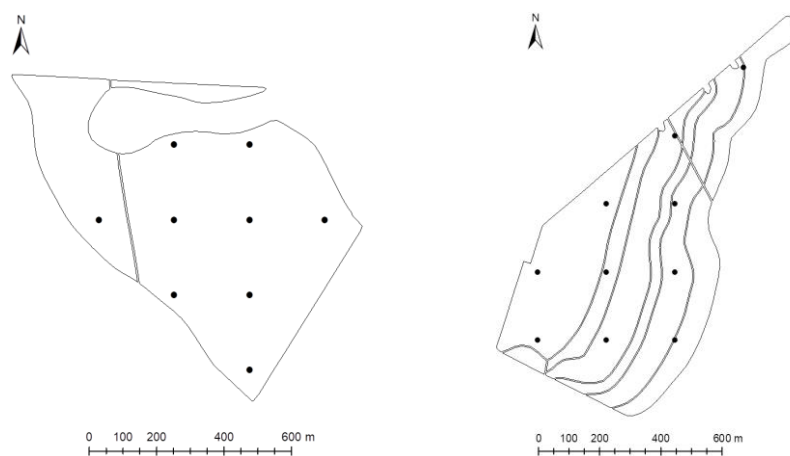


Figura 5. Disposição dos pontos de amostragem de solo da área A (esquerda) e B (direita).

As tabelas 1 e 2 apresentam os valores das estatísticas descritivas para as áreas A e B, respectivamente. Na área A foram utilizados 9 pontos amostrais para os cálculos estatísticos, uma vez que um dos pontos se encontrava fora do talhão onde foram mensuradas as demais leituras.

Tabela 1 - Estatística descritiva dos atributos do solo avaliados para a área A na camada de 0-25 cm, amostrados em 2017. Itacemópolis-SP.

	Total de pontos	Máximo	Mínimo	Média	Variância	DP	CV	Curtose
Argila	9	73,6	59	66,7	27,45	5,24	7,85	-1,41
MO	9	30,0	24	27,0	4,11	2,02	7,48	-1,2
K ⁺	9	14,9	1,2	8,4	30,10	0,52	6,21	-1,63
CTC	9	99,4	84,2	93,9	26,77	5,17	5,50	0,50
pH	9	5,0	4,6	4,8	0,01	0,13	2,75	-0,15

Onde: DP = desvio padrão; CV = coeficiente de variação (%). Unidades: Argila (%); MO (g dm⁻³); K⁺ (mmol_c dm⁻³); CTC (mmol_c dm⁻³).

Tabela 2 - Estatística descritiva dos atributos do solo avaliados para a área B na camada de 0-25 cm, amostrados em 2017. Itacemópolis-SP.

	Total de pontos	Máximo	Mínimo	Média	Variância	DP	CV	Curtose
Argila	10	25,8	20,9	22,9	3,68	1,91	8,34	-1,74
MO	10	37,0	27,0	30,9	13,87	3,72	12,04	-1,55
K ⁺	10	32,9	1,5	11,9	99,29	9,96	83,70	0,63
CTC	10	105,5	66,8	83,5	154,96	12,44	14,90	-0,68
pH	10	5,5	4,2	4,9	0,19	0,45	9,18	-0,87

Onde: DP = desvio padrão; CV = coeficiente de variação (%). Unidades: Argila (%); MO (g dm⁻³); K⁺ (mmol_c dm⁻³); CTC (mmol_c dm⁻³).

Pela análise das tabelas 1 e 2, nota-se que os atributos de ambas as áreas tiveram CV abaixo de 12%, sendo considerados de baixa variabilidade de acordo com a classificação proposta por Warrick & Nielsen (1980), exceto para K⁺ na área B, onde houve alta variabilidade, apresentando um CV maior que 60%. A área A apresentou maiores médias para Argila e CTC, enquanto que a área B apresentou maiores médias para M.O. e K⁺. Os maiores valores de CTC da área A estão relacionados ao alto teor de argila, devido ao fato das partículas coloidais da argila no solo apresentarem predominantemente cargas negativas, atraindo assim os cátions e adsorvendo-os em sua superfície, o que aumenta a sua capacidade de troca catiônica.

A figura 6 representa o caminhamento feito pela equipe de amostragem de S. /levis da usina. O levantamento da praga é realizado numa densidade de 9 amostras por hectare.

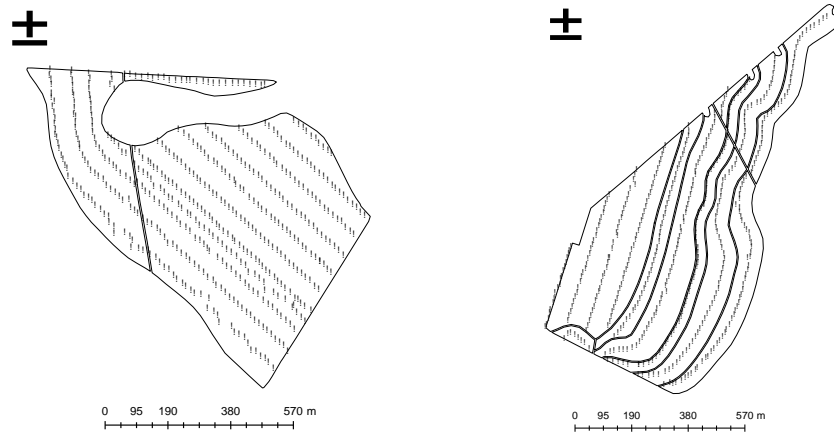


Figura 6. Dispersão dos pontos de amostragem de *Sphenophorus levis* das áreas A (esquerda) e B (direita).

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos pela estatística descritiva dos dados de amostragem de *S. levis* da área A realizado pela usina entre maio e junho de 2017.

Tabela 3 - Estatística descritiva dos parâmetros indicadores de ataque de *Sphenophorus levis* em cana-de-açúcar para a área A, amostrados entre maio e julho de 2017. Itacemópolis-SP.

	Total de pontos	Máximo	Mínimo	Média	Variância	DP	CV	Curtose
TT	494	27	4	7,90	4,61	2,15	27,18	13,67
TA	494	4	0	0,25	0,33	0,58	227,50	7,23
LA	494	2	0	0,11	0,11	0,34	321,68	11,26
PU	494	1	0	0,02	0,02	0,15	663,31	40,35
AD	494	1	0	0,01	0,01	0,12	834,94	66,27
%TA	494	44	0	3,16	50,70	7,12	225,10	5,56

Onde: DP = desvio padrão; CV = coeficiente de variação; TT = tocos totais; TA = tocos atacados; LA = larvas; PU = pupas; AD = adultos; %TA = porcentagem de tocos atacados.

Percebe-se pouca variação entre os valores máximos e mínimos referentes as variáveis das formas biológicas da praga (LA, PU e AD). Também é possível notar que os coeficientes de variação (CV) de todas as variáveis foram elevados (> 24%) de acordo com a classificação proposta por Warrick & Nielsen (1980). As variáveis que apresentaram os maiores valores de variância e desvio padrão foram TT e %TA, o que indica uma alta heterogeneidade e dispersão dos dados.

Na Tabela 4 estão representados os valores da estatística descritiva dos dados de amostragem de *S. levis* da área B realizado pela equipe de controle de pragas da usina em agosto de 2017.

Tabela 4 - Estatística descritiva dos parâmetros indicadores de ataque de *Sphenophorus levis* em cana-de-açúcar para a área B, amostrados em agosto de 2017. Itacemópolis-SP.

	Total de pontos	Máximo	Mínimo	Média	Variância	DP	CV	Curtose
TT	476	14	5	7,47	2,44	1,56	20,92	1,22
TA	476	4	0	0,40	0,57	0,75	187,11	4,34
LA	476	3	0	0,23	0,29	0,53	235,40	7,47
PU	476	1	0	0,00	0,00	0,05	2181,74	476,00
AD	476	3	0	0,02	0,04	0,19	995,54	163,56
%TA	476	60	0	5,14	89,39	9,45	184,02	4,55

Onde: DP = desvio padrão; CV = coeficiente de variação; TT = tocos totais; TA = tocos atacados; LA = larvas; PU = pupas; AD = adultos; %TA = porcentagem de tocos atacados.

Assim como a área A, a variância e desvio padrão das variáveis TA, LA, PU e AD foram baixos e os coeficientes de variação de todas as variáveis foram elevados, porém neste caso, para a variável TT ficou classificado como médio (12-24%), provavelmente pelo fato de ser uma área que está no sétimo corte, o que pode indicar um menor número de perfilhos presentes no solo.

A Figura 7 demonstra o caminhamento percorrido pelo sensor de condutividade elétrica nas duas áreas do estudo, bem como a dispersão dos pontos e a suas densidades de forma espacializada.

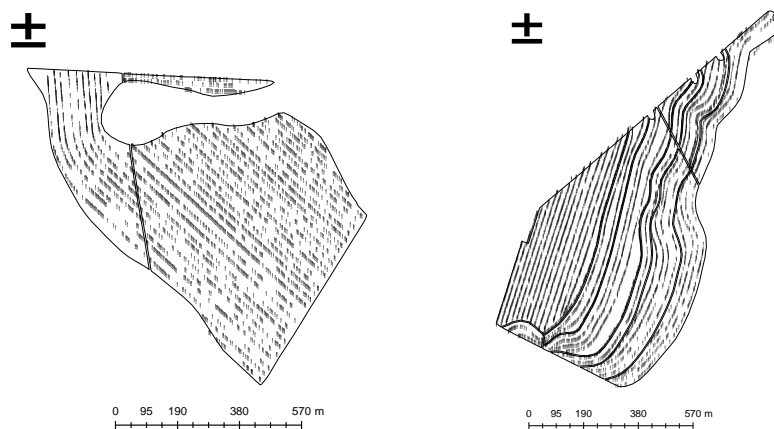


Figura 7. Dispersão dos pontos condutividade elétrica aparente (CEa) do solo das áreas A (esquerda) e B (direita).

Para calcular a estatística descritiva dos dados de CEa do solo das duas áreas, foram eliminados os valores de leitura negativos. De um total de 2936 pontos da área A, foram retirados 196 que possuíam valores negativos, restando portanto 2740 pontos, conforme mostra a Tabela 5. Para a área B, foram eliminados 308 pontos com valores negativos, resultando em 4857 pontos. Após a filtragem dos dados feita pela ferramenta Cluster and Outliers Analysis, foram removidos 307 pontos da área A e 415 pontos da área B. A tabela 5 apresenta as estatísticas descritivas das leituras da CEa antes e após a filtragem dos dados.

Tabela 5 - Estatística descritiva das leituras de condutividade elétrica (mS m^{-1}) para a profundidade de 0-30 cm referente às áreas A e B, coletadas em julho de 2017. Iracemápolis-SP.

Brutos								
Área	Total de pontos	Máximo	Mínimo	Média	Variância	DP	CV	Curtose
A	2740	72,4	0	8,17	58,34	7,64	93,53	4,36
B	4857	56,6	0	2,65	4,63	2,15	81,28	114,04
Limpos								
A	2433	32,8	0	6,83	33,19	5,76	84,33	0,37
B	4442	15,7	0	2,37	2,02	1,42	59,92	2,47

Onde: DP = desvio padrão; CV = coeficiente de variação.

As médias das duas áreas tiveram uma redução dos seus valores em relação aos dados brutos, bem como na variabilidade dos dados, evidenciada pelos menores valores de variância, desvio padrão e coeficiente de variação.

Nota-se que as médias das leituras da área B foram menores que as médias das leituras da área A, possivelmente por ser um solo de textura mais arenosa, o que pode estar relacionado a menor capacidade de retenção hídrica. Os valores de variância e desvio padrão também foram significativamente menores, o que demonstra menor variabilidade e dispersão dos dados.

As Figuras 8 e 9 mostram o resultado das análises de regressão dos atributos do solo (MO, Argila, CTC, K^+ e pH) com as variáveis %TA e CEa da área A e B, respectivamente.

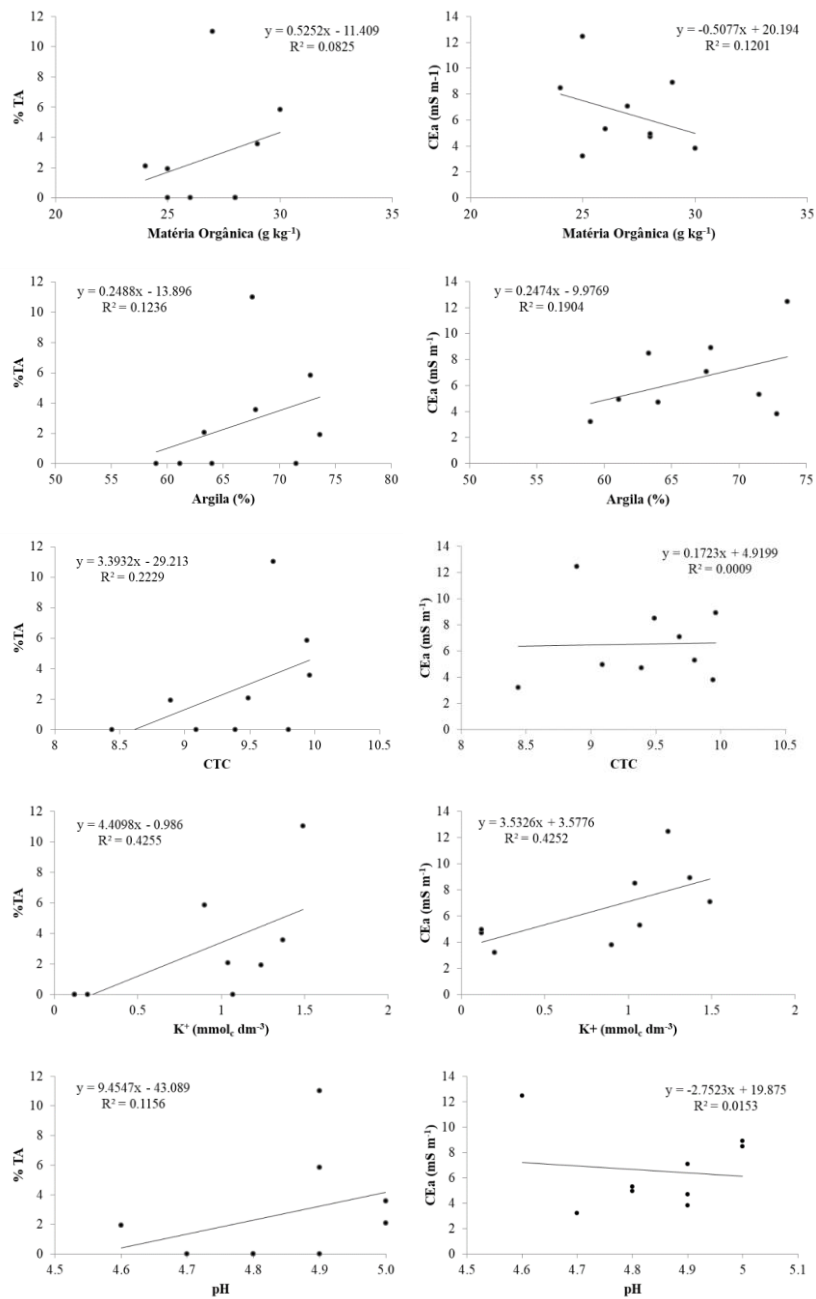


Figura 8. Análise de regressão entre os atributos do solo (MO, Argila, CTC, K⁺ e pH) da camada de 0 a 20 cm e as médias das variáveis %TA e CEA da área A.

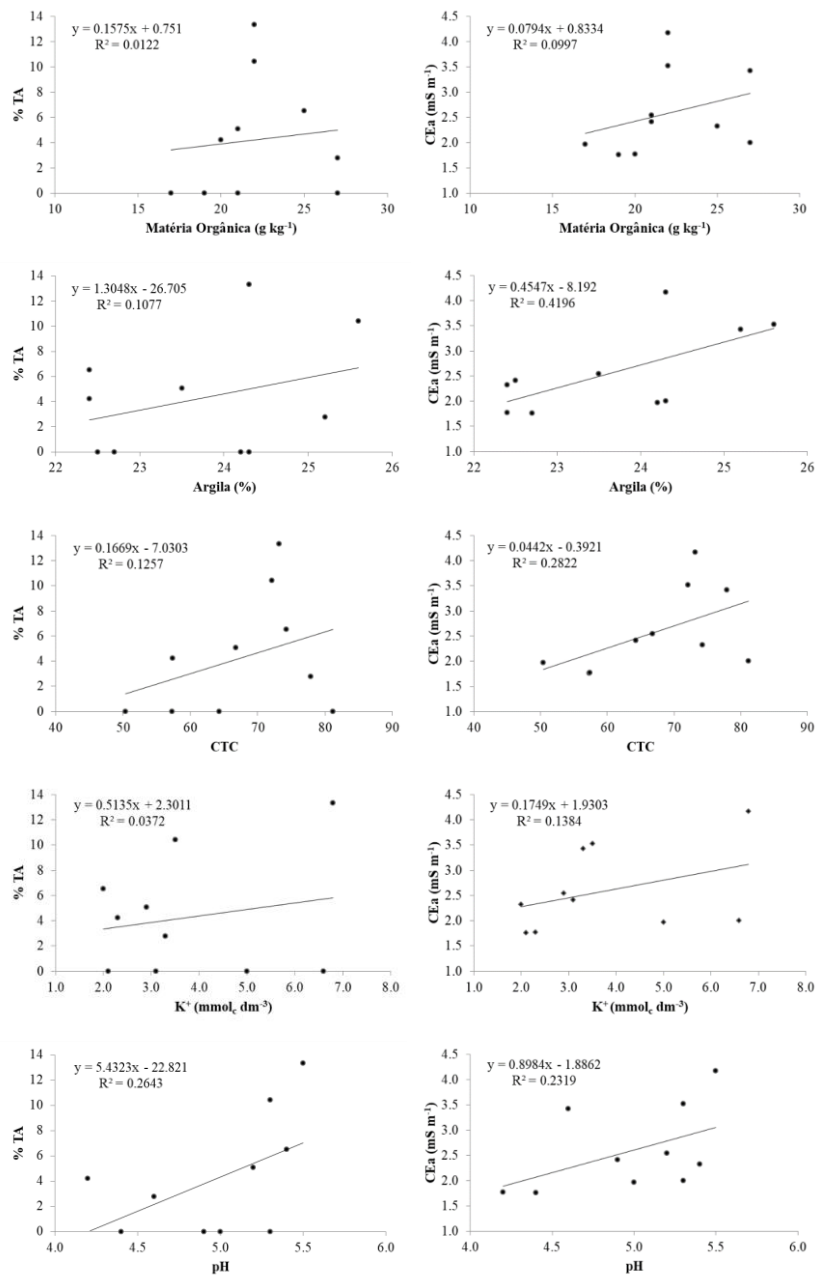


Figura 9. Análise de regressão entre os atributos do solo (MO, Argila, CTC, K⁺ e pH) da camada de 0 a 20 cm e as médias das variáveis %TA e CEA da área B.

Pelos resultados obtidos de R^2 , observa-se que houve baixa correlação entre os atributos investigados em ambas as áreas. De todas as análises de regressão, as que obtiveram maior R^2 foram entre a condutividade elétrica e o teor de potássio ($R^2 = 0,42$) e entre a porcentagem de tocos atacados e o teor de potássio ($R^2 = 0,42$) para a área A e entre a condutividade elétrica e o teor de argila ($R^2 = 0,41$) para a área B. Uma das prováveis causas para a baixa relação foram as baixas densidades de amostras utilizadas na regressão, que possivelmente foram insuficientes para caracterizar uma tendência.

Apesar dos baixos valores, existem trabalhos na literatura que mostram boas relações da condutividade elétrica com teor de argila, matéria orgânica, capacidade de troca catiônica e salinidade (Molin e Rabello, 2011; Rhoades et al., 1999; Nobes et al., 2000; McBrigde et al., 1990). Em relação a porcentagem de tocos atacados, o fato de a maior correlação ter sido com o teor de potássio da área A pode estar relacionado a umidade gerada no solo pela aplicação de vinhaça, que fornece potássio ao solo. Pinto et al. (2006) afirmam que o *S. levis* tem preferência por solos claros, argilosos e com boa umidade.

As tabelas 6 e 7 apresentam os parâmetros obtidos dos semivariogramas (Anexos 1 à 12) das variáveis estudadas, assim como o modelo ajustado e a relação de dependência espacial referentes às áreas A e B, respectivamente.

Tabela 6 - Parâmetros dos semivariogramas, modelo utilizado e grau de dependência espacial (GDE) das variáveis estudadas referentes à área A.

	Pepita	Patamar	Alcance	Modelo	GDE
CEa	28,23	33,59	410,48	Esférico	0,46
ALT	0,10	51,17	263,70	Exponencial	0,002
%TA	19,62	49,46	5,77	Exponencial	0,28
LA	0,10	0,12	43,74	Esférico	-
PU	0,02	0,02	43,84	Esférico	-
AD	0,01	0,01	236,53	Esférico	-

Onde: C_0 = efeito pepita; C_1 = patamar; A = alcance; CEa = condutividade elétrica aparente; ALT = altimetria; %TA = porcentagem de tocos atacados; LA = larvas; PU = pupas; AD = adultos.

Tabela 7 - Parâmetros dos semivariogramas, modelo utilizado e grau de dependência espacial (GDE) das variáveis estudadas referentes à área B.

	Pepita	Patamar	Alcance	Modelo	GDE
CEa	1,82	2,12	609,97	Esférico	0,46
ALT	1,37	79,41	1004,00	Esférico	0,02
%TA	73,05	97,00	408,20	Exponencial	0,43
LA	0,25	0,25	167,52	Esférico	-
PU	0,00	0,00	14,22	Esférico	-
AD	0,04	0,04	171,64	Esférico	-

Onde: C_0 = efeito pepita; C_1 = patamar; A = alcance; CEa = condutividade elétrica aparente; ALT = altimetria; %TA = porcentagem de tocos atacados; LA = larvas; PU = pupas; AD = adultos.

Nota-se que em ambas as áreas, as variáveis referentes a forma biológica da praga (LA, PU e AD) apresentaram efeito pepita puro ($C_0 = C_1$), não sendo possível caracterizar dependência espacial. Isto indica que a distribuição da variável em campo foi ao acaso ou a distância entre os pontos amostrais era grande demais para possibilitar a detecção de dependência espacial. Liebhold et al. (1993) citado por Izeppi (2015), afirmam que a ocorrência do efeito pepita é bastante comum em estudos envolvendo insetos, principalmente porque a dependência espacial pode ocorrer numa escala menor do que a escala de amostragem utilizada. Sendo assim, um fator que pode ter influenciado este resultado é a baixa densidade amostral utilizada pela usina, cerca de 9 pontos por hectare. Pavlu e Molin (2016), estudando um plano de amostragem para o controle de *S. levis*, observaram dependência espacial em cenários com densidade amostral em torno de 14 a 17 pontos por hectare, e que, se reduzidas para cerca de 7 pontos por hectare, torna-se impossível de se caracterizar a dependência espacial.

Em relação a variável %TA, observa-se que dentre as variáveis referentes ao levantamento de *S. levis*, esta foi a única que apresentou dependência espacial moderada em ambas as áreas, de acordo com a classificação proposta por Cambardella et al. (1994). Um possível motivo, como ressaltado por Izeppi (2015), é que como esta variável está relacionada ao dano causado nos tocos, os mesmos permanecem um longo período de tempo, até o próximo corte da cultura, tornando-se mais fácil de ser caracterizada sua dependência espacial, diferentemente das outras variáveis (LA, PU e AD) que, mesmo a praga tendo baixa mobilidade ao longo

de um ano, pode se deslocar até uma determinada distância, além de possuírem picos de infestação distintos, que podem influenciar este tipo de análise, dependendo da época em que foram amostradas. Grodowitz et al. (2014) estudaram a distribuição espacial de *Cyrtobagous salviniae* e observaram que os adultos e larvas apresentaram arranjo espacial agregado nos meses em que a população do inseto foi menor, ocorrendo distribuição aleatória.

Para as variáveis amostradas por meio do sensor de condutividade elétrica, a CEa apresentou dependência espacial moderada em ambas as áreas, apresentando o mesmo valor de GDE, porém analisando os valores isolados de C_0 e C_1 , nota-se que a área A possui uma maior variação entre os valores de leitura mais próximos e sua variância se estabiliza a uma distância mais elevada, o que evidencia maior heterogeneidade em relação a área B. Os valores de altimetria obtiveram forte dependência espacial. A variabilidade espacial dos parâmetros estudados pode ser visualizada nas figuras 10 e 11, referentes as áreas A e B, respectivamente.

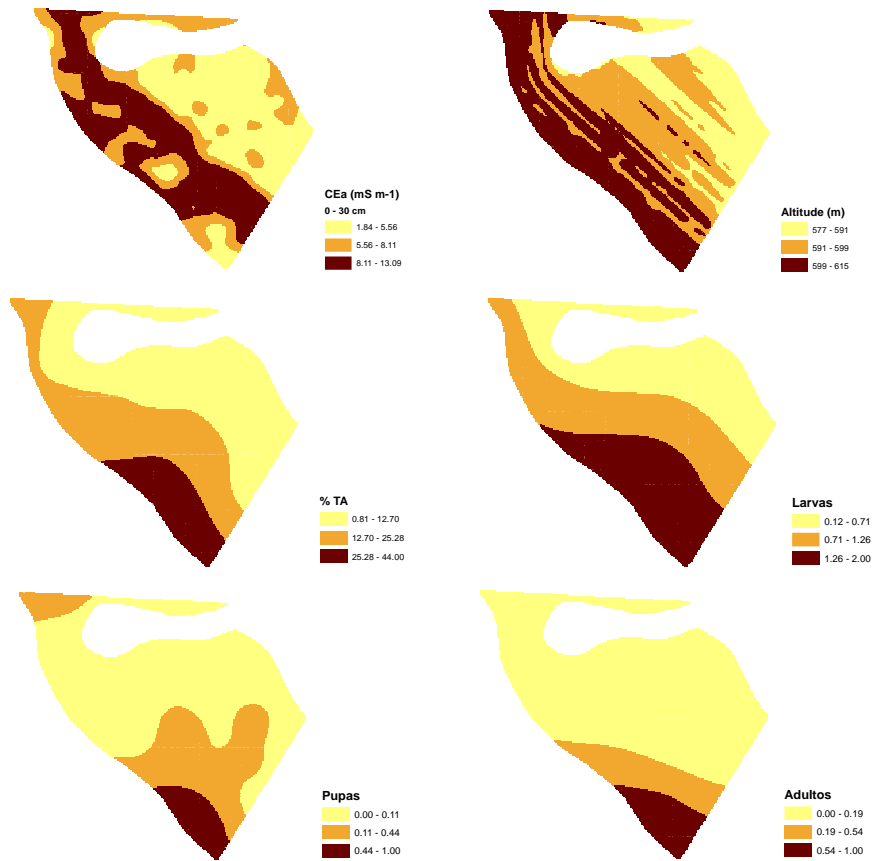


Figura 10. Mapas temáticos interpolados por Krigagem (CEa e Altitude) e Spline (%TA, Larvas, Pupas e Adultos) das variáveis estudadas referentes à área A.

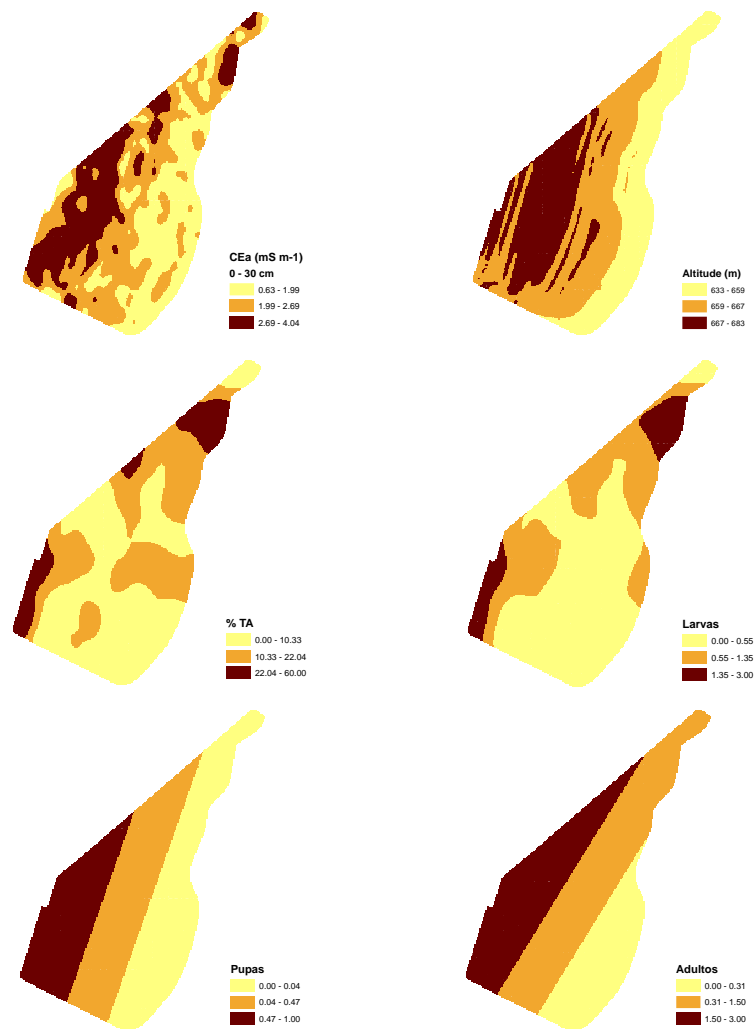


Figura 11. Mapas temáticos interpolados por Krigagem (CEa e Altitude) e Spline (%TA, Larvas, Pupas e Adultos) das variáveis estudadas referentes à área B.

Tabela 8 - Coeficiente de Correlação de Pearson entre os dados de amostragem de *S. levis* com os dados de CEa e Altimetria da área A.

	CEa	%TA	LA	AD	PU
%TA	<i>0,39</i>				
LA	<i>0,45</i>	0,93			
AD	0,18	0,85	0,79		
PU	0,10	0,82	0,72	0,89	
ALT	0,54	0,64	0,66	<i>0,41</i>	<i>0,34</i>

Onde: CEa = condutividade elétrica aparente; %TA = porcentagem de tocos atacados; LA = larvas; AD = adultos; PU = pupas; ALT = altimetria. Em **negrito**: correlação forte (0,5 – 1,0); Em *itálico*: correlação moderada (0,30 – 0,49); Fonte normal: correlação fraca (0,10 – 0,29). Todos os valores foram significativos para $p < 0,05$.

Tabela 9 - Coeficiente de correlação de Pearson entre os dados de amostragem de *S. levis* com os dados de CEa e Altimetria da área B.

	CEa	%TA	LA	AD	PU
%TA	0,14				
LA	0,28	0,89			
AD	0,63	<i>0,40</i>	<i>0,45</i>		
PU	0,61	0,23	0,27	0,90	
ALT	0,53	-0,02	-0,04	0,67	0,80

Onde: CEa = condutividade elétrica aparente; %TA = porcentagem de tocos atacados; LA = larvas; AD = adultos; PU = pupas; ALT = altimetria. Em **negrito**: correlação forte (0,5 – 1,0); Em *itálico*: correlação moderada (0,30 – 0,49); Fonte normal: correlação fraca (0,10 – 0,29). Todos os valores foram significativos para $p < 0,05$.

De acordo com a classificação proposta por Cohen (1988), os valores de coeficiente de correlação de Pearson (r) entre 0,10 e 0,29 apontam para uma relação fraca, já valores entre 0,30 e 0,49 são considerados moderadas, e os de 0,5 até 1 possuem forte relação.

Na área A é possível perceber uma forte correlação entre as variáveis relacionadas as formas biológicas da praga (LA, PU e AD) bem como entre elas e a porcentagem de tocos atacados (%TA), principalmente entre LA e %TA, justamente por ser esta forma biológica da praga responsável pelo ataca nas touceiras. Este resultado corrobora com as observações de Alencar (2016) de que distribuição

espacial do *S. levis* ocorre de forma altamente agregada, independente da fase biológica da praga.

Em relação a CEa, observou-se uma forte relação com a altimetria, que corroboram com os resultados obtidos por Grego et al (2011). Os autores verificaram alta correlação espacial entre a condutividade elétrica e a cota topográfica, entretanto, diferentemente do trabalho citado, o presente estudo observou maiores valores de CEa em áreas com maiores altitudes. Houve média correlação com as variáveis %TA e LA, que podem indicar uma preferência das larvas por um solo com mais umidade, porém em relação as variáveis AD e PU foram observadas baixas correlações.

Para a área B, observou-se alta correlação entre %TA e LA, como visto também na área A, porém para as outras formas biológicas, houve alta correlação apenas entre AD e PU, que pode ter coincidido com o momento da amostragem, onde possivelmente a praga estaria entre a fase pupal e adulta.

Assim como na área A, foi observada alta correlação entre a CEa e a altimetria, porém, enquanto que na área A houve médias correlações da CEa com LA e %TA e baixas com AD e PU, na área B foi visto o contrário, a CEa obteve altas correlações com AD e PU e baixas com %TA e LA. Como a média de %TA da área B é maior que da área A, é possível que a correlação tenha sido baixa devido ao alto nível de infestação, de maneira mais dispersa.

A época da amostragem também é um fator que pode ter interferido. Visto que na área A a amostragem se deu num período de maior incidência de larvas, e na área B a amostragem foi feita próxima a fase pupal e adulta. Sendo assim, pode-se inferir que existe uma possibilidade, ainda que careça de mais estudos, de que a incidência de *S. levis* seja maior em áreas com maiores valores de CEa.

5. CONCLUSÕES

Neste estudo não houve correlação entre os atributos da análise de solo (MO, Argila, CTC, K^+ e pH) e as variáveis estudadas (CEa e %TA). No caso das amostragens de *S. levis*, a densidade amostral utilizada pela usina (9 pontos por hectare) não foi adequada para caracterizar dependência espacial das formas biológicas da praga (LA, PU e AD), porém mostrou-se útil para a variável %TA.

Com base neste trabalho, foi possível concluir que pode existir uma relação entre a distribuição espacial de *S. levis* e a condutividade elétrica do solo, porém ainda são necessários mais estudos a respeito. Esta informação pode vir a servir como um direcionador para a amostragem e o controle da *S. levis*, possibilitando a determinação de áreas com diferentes riscos de infestação e auxiliando no manejo integrado de pragas.

6. REFERÊNCIAS

ALENCAR, J. R. D. C. C. et al. Dinâmica populacional, distribuição espacial e plano de amostragem sequencial de *Sphenophorus levis* Vaurie, 1978 (Coleoptera: curculionidae) em cana-de-açúcar. 2016.

ALENCAR, K. Análise do balanço entre demanda por etanol e oferta de cana-de-açúcar no Brasil. 2012. Tese de Doutorado.

ALMEIDA, L. C., STINGEL, E.; ARRIGONI, E. de B. Monitoramento e controle de pragas da cana-de-açúcar. Piracicaba-Sp.: Centro de Tecnologia Canavieira, 2008. 35p.

ALVARENGA, R.P.; QUEIROZ, T.R. Caracterização dos aspectos e impactos econômicos, sociais e ambientais do setor sucroalcooleiro paulista. In: Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, 46. 2008. Rio Branco.

ALVES BOTELHO, A.A.; MONTEIRO, A.C. Sensibilidade de fungos entomopatogênicos a agroquímicos usados no manejo da cana-de-açúcar. Bragantia, v. 70, n. 2, 2011.

BARRETO-TRIANA, N. Comportamento sexual e reprodutivo de *Sphenophorus levis* Vaurie, 1978 (Coleoptera: Curculionidae) em cana-de-açúcar. 2009. 95 f. Tese (Doutorado em Ciências – Entomologia) Escola Superior de Agricultura – ESALQ, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

BRANDÃO, Z. N.; ZONTA, J. H.; MEDEIROS, J. C.; SANA, R. S.; FERREIRA, G. B. Condutividade elétrica aparente e sua correlação com o pH em solos no cerrado de Goiás. In: INAMASU, R. Y.; NAIME, J. M.; RESENDE A. V.; BASSOI, L. H.; BERNARDI, A. C. C. (Ed.). Agricultura de precisão: um novo olhar. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2011. p. 162-167.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria nº 852 - Art.1º Criar a Comissão Brasileira de Agricultura de Precisão – CBAP. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 21 set. 2012. Seção 1, n. 184. Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do42.htm>

CAMBARDELLA, C. A. et al. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. Soil science society of America journal, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994.

CANASSA, F. Distribuição espacial, efeito do manejo da palha pós-colheita e da aplicação de *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin (Hypocreales: Cordycipitaceae) na ocorrência de *Sphenophorus levis* Vaurie, 1978 (Coleoptera: Curculionidae) em cana-de-açúcar. 2014. 98f. Tese de Doutorado. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2014.

CAMARGO, E. C. G. Geoestatística: fundamentos e aplicações. Geoprocessamento para projetos ambientais. São José dos Campos: INPE, 1998.

CAON, D.; GENÚ, A.M. Mapeamento de atributos químicos em diferentes densidades amostrais e influência na adubação e calagem. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 17, n. 6, p. 629-639, 2013.

CASAGRANDE, A.A. Tópicos de morfologia e fisiologia da cana-de-açúcar. Jaboticabal: Funep, 1991. 157p.

CHERUBIN, M.R. et al. Dimensão da malha amostral para caracterização da variabilidade espacial de fósforo e potássio em Latossolo Vermelho. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 50, n. 2, p. 168-177, 2015.

COELHO, A. M. Agricultura de precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e culturas / Antônio Marcos Coelho. – Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2005. 60 p.; 21 cm. - (Documentos / Embrapa Milho e Sorgo, ISSN 1518-4277; 46).

COHEN, J. Statistical power analysis for the behavioral sciences. Hillsdale, NJ, Erlbaum. 1988.

COLETI, J.T.; STUPIELLO, J.J.; Plantio da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S.V; PINTO, A.S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J.C.M. Atualizações em produção de cana-de-açúcar. Piracicaba: CP 2, 2006.

CORWIN, D. L.; LESCH, S. M. Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture. Computers and electronics in agriculture, v. 46, n. 1, p. 11-43, 2005.

D'AGOSTINI, S.; REBOUÇAS, M. M.; BATISTA FILHO, A.; VITIELLO, N.; Fórum: A cana-de-açúcar permeando pelo centro de memória do Instituto Biológico. Disponível em <http://www.biológico.sp.gov.br/docs/pag/v5_1/dagostini.html>.

DEGASPARI, N. et al. Biologia de *Sphenophorus levis* Vaurie, 1978 (Col.: Curculionidae), em dieta artificial a no campo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 22, n. 6, p. 553-558, 1987.

DINARDO-MIRANDA, L. L. Nematóides e pragas de solo em cana-de-açúcar. Informações agronômicas, v. 110, n. 1, p. 25-32, 2005.

DINARDO-MIRANDA, L. L. Pragas. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. Cana-de-açúcar. Campinas: Instituto Agrônômico, p. 349 – 404, 2008.

FORTIN, M. C.; PIERCE, F. J. Toward an agriculture information system to maximize value in agriculture data. In: WOLF, S. A. (Ed.). Privatization of information and agriculture industrialization. Boca Raton: CRC Press, 1998. p. 95-104.

Formatado: Inglês (Estados Unidos)

GIRÓN PÉREZ, K. et al. Atração de Adultos de *Sphenophorus levis* Vaurie (Coleoptera: Curculionidae) a Fragmentos Vegetais em Diferentes Estados de Conservação. Neotropical Entomology, v. 38, n. 6, 2009.

GREGO, C. R.; RABELLO, L. M.; BRANCALIÃO, S. R.; VIEIRA, S. R.; OLIVEIRA, A. Geoestatística aplicada a condutividade elétrica do solo e altitude do solo cultivado com cana-de-açúcar. In: INAMASU, R. Y.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L.

H.; BERNARDI, A. C. (Ed.). Agricultura de precisão: um novo olhar. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2011. p. 245-248.

GRODOWITZ, M. J.; JOHNSON, S.; SCHAD, A. N. Efficiency of sampling to determine population size of *Cyrtobagous salviniae* (Coleoptera: Curculionidae) Florida Entomologist, Gainesville, v. 7, n. 3, p. 1213-1225, 2014.

HARRIS, J.A. Practical universality of field heterogeneity as a factor influencing plot yields. Journal of Agricultural Research, v. 19, n. 7, p. 279-314, 1920.

IZEPPI, T. Distribuição espacial e dinâmica populacional de *Sphenophorus levis* (Coleoptera: Curculionidae) em cana-de-açúcar. 2015.

KELLOGG, C. E. We seek; we learn. In: STEFFERUD, A. (Ed.). The yearbook of Agricultura: Soil. Washington, D.C.: USDA, 1957. p. 1-11

KNOB, M. J. Aplicação de técnicas de agricultura de precisão em pequenas propriedades. Santa Maria: UFSM, 2006. 129p. Dissertação Mestrado.

LIEBHOLD, A.M.; ZHANG, X.; HOHN, M.E.; ELKINTON, J.S.; TICEHURDT, M.; BENZON, G.L.; CAMPBELL, R.W. Geostatistical analysis of gypsy mont (Lepdoptera: Lymantriidae) egg mass populations. Environmental Entomology, v.20, p. 1407-1417, 1993.

LINSLEY, C.M.; BAUER, F.C. Test your soil for acidity. Circular, University of Illinois, Agricultural Experiment Station, n. 346. 1929. Disponível em <<http://hdl.handle.net/2142/33105>>

LOURENTE, E. R. P., DA SILVA, R. F., DA SILVA, D. A., MARCHETTI, M. E., & MERCANTE, F. M. (2007). Macrofauna edáfica e sua interação com atributos químicos e físicos do solo sob diferentes sistemas de manejo-DOI: 10.4025/actasciagron. v29i1. 60. Acta Scientiarum. Agronomy, 29(1), 17-22.

LUCCHESI, A. A. Cana-de-açúcar. Ecofisiologia de culturas extrativistas: cana-de-açúcar, seringueira, coqueiro, dendeneiro e oliveira. Piracicaba: Cosmópolis Stoller do Brasil, v. 1, p. 13-45, 2001.

MAGALHÃES, A. C. N. Ecofisiologia da cana-de-açúcar: aspectos do metabolismo do carbono na planta. In: Castro, P. R. C.; Ferreira, S. O.; Yamada, T. (Ed.). Ecofisiologia da Produção Agrícola. Piracicaba: Potafós, 1987. p.113-118.

MARVALDI, A. E.; LANTERI, A. A. Key to higher taxa of South American weevils based on adult characters (Coleoptera, Curculionoidea). Revista Chilena de Historia Natural, v. 78, n. 1, 2005.

MCBRIGDE, R.A., GORDON, A.M., SHRIVE, S.C., 1990. Estimating forest soil quality from terrain measurements of apparent electrical conductivity. Soil Sci. Soc. Am. J. 54, 290–293.

MCNEILL, J.D., 1992. Rapid, accurate mapping of soil salinity by electromagnetic ground conductivity meters. In: Topp, G.C., Reynolds, W.D., Green, R.E. (Eds.), Advances in Measurement of Soil Physical Properties: Bringing Theory Into Practice. Spec. Publ. 30. SSSA, Madison, WI, 209–229.

MELLO, J.M. de. Geoestatística aplicada ao inventário florestal. 2004. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

MOLIN, J. P. et al. Estudos sobre a mensuração da condutividade elétrica do solo. Engenharia Agrícola, v. 31, n. 1, p. 90-101, 2011.

MOLIN, J. P. Agricultura de Precisão: o gerenciamento da variabilidade. Piracicaba: o autor, 2001.

MONTGOMERY, E.G. Experiments in wheat breeding: experimental error in the nursery and variation in nitrogen and yield. 1913.

NOBES, D.C.; ARMSTRONG, M.J.; CLOSE, M.E., 2000. Delineation of a landfill leachate plume and flow channels in coastal sands near Christchurch, New Zealand, using a shallow electromagnetic survey method. *Hydrogeol. J.* 8 (3), 328–336.

NUNES JÚNIOR, D. O insumo torta de filtro. IDEA News, Ribeirão Preto, 2005.

OLIVEIRA, T.M.V. de. Amostragem não probabilística: adequação de situações para uso e limitações de amostras por conveniência, julgamento e quotas. *Administração on line*, v. 2, n. 3, p. 1-16, 2001.

PAVLU, F.A.; MOLIN, J.P. A sampling plan and spatial distribution for site-specific control of *Sphenophorus levis* in sugarcane. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 38, n. 3, p. 279-287, 2016.

PEREZ-DE LA O, N. B.; LOPEZ-MARTINEZ, V.; JIMENEZ-GARCIA, D.; JONES, R. W. Determination of spatial distribution of *Sphenophorus incurrens* (Coleoptera: Curculionidae) using GIS in Morelos, Mexico. *Florida Entomologist*, Gainesville, v. 97, n. 1, p. 285-287, 2014.

PEREZ, N. B.; NEVES, M. C.; VOLK, L. B. S.; MARTINS, L. A.; SISTI, R. N. Variabilidade espaço-temporal em sistemas de integração lavoura-pecuária na Região Sul do Brasil: perspectivas de intervenção com agricultura de precisão. In: INAMASU, R. Y.; NAIME, J. M.; RESENDE, Á. V.; BASSOI, L. H.; BERNARDI, A. C. C. (Ed.). *Agricultura de precisão: um novo olhar*. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2011. p. 249-253.

PINTO, A.S.; GARCIA, J.F.; DE OLIVEIRA, J.N. Manejo das principais da cana-de-açúcar. In Vanzolini S, Sene A P, Jendiroba E, Nóbregan J C M *Atualização em produção de cana-de-açúcar*. São Paulo, Ed. PROL, p.257-280, 2006.

PRECETTI, A. C. M. Aspectos bioecológicos e controle do besouro *Sphenophorus levis* Vaurie, 1978 (Coleoptera, Curculionidae) em cana-de-açúcar. Copersucar, 1990.

REYES, J. C. B. Distribución espacial de *Sphenophorus incurrens* Gyllenhal en la zona de producción de caña del ingenio Emiliano Zapata en Morelos. 2015. 39f. Dissertação Mestrado em Ciência e Manejo Agroecológico de Pragas e Enfermidades. Instituto Politécnico Nacional. 2015.

RHOADES, J.D., CORWIN, D.L., LESCH, S.M., 1999. Geospatial measurements of soil electrical conductivity to assess soil salinity and diffuse salt loading from irrigation. In: CORWIN, D.L., LOAGUE, K., ELLSWORTH, T.R. (Eds.), Assessment of Non-point Source Pollution in the Vadose Zone. Geophysical Monograph 108 American Geophysical Union, Washington, DC, pp. 197–215.

RHOADES, J.D., HALVORSON, A.D., 1977. Electrical conductivity methods for detecting and delineating saline seeps and measuring salinity in Northern Great Plains soils, ARS W-42. USDA-ARS Western Region, Berkeley, CA, USA, pp. 1–45.

RIFFEL, C.T. et al. Sample density applied to the georeferenced monitoring of defoliating caterpillars in soybean crop. *Ciência Rural*, v. 42, n. 12, p. 2112-2119, 2012.

ROSSETTO, A. J. Utilização Agronômica dos Sub-produtos e Resíduos da Indústria Açucareira e Alcooleira. In: PARANHOS, S. B. (Coord.) Cana-de-açúcar - cultivo e utilização. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 2.4.p.433-504.

ROZA, D. Novidade no campo: Geotecnologias renovam a agricultura. *Revista InfoGEO*, n. 11. 2000. Disponível em <http://www.infogeo.com.br/Revista/materia_11.htm>

SANCHES, G. M. et al. Estimativa de atributos de solo com amostragem reduzida utilizando geoestatística multivariada em área cultivada com cana-de-açúcar.

SANTOS, VALDEVAN R. et al. Crescimento e produtividade agrícola de cana-de-açúcar em diferentes fontes de fósforo. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, v.13, n.4, p.389–396, 2009.

SEARCY, S. Special topics in precision agriculture: Lecture Notes, 2001. Disponível em: <www.agen.tamu.edu/txprecag/agsm489/>.

SILVA, M. de A.; CARLIN, S. D.; PERECIN, D. Fatores que afetam a brotação inicial da cana-de-açúcar. Revista Ceres, v. 51, n. 296, p. 457-466, 2004.

SOUZA, L. da S. Variabilidade espacial do solo em sistemas de manejo. UFRGS, 1992.

SUDDUTH, K. A. et al. Relating apparent electrical conductivity to soil properties across the north-central USA. Computers and Electronics in Agriculture, v. 46, n. 1, p. 263-283, 2005.

TERRY, I. et al. *Heliothis zea* (Lepidoptera: Noctuidae) eggs in soybeans: within-field distribution and precision level sequential count plans. Environmental Entomology, v.18, p.908-916, 1989.

TERUEL, D. A.; BARBIERI, V.; FERRARO JR., L.A. Sugarcane leaf área index modeling under diferente soil water conditions. Scientia Agricola, v. 54, n spe, p. 39-44, 1997.

TING, K.C.; TAREK, A.; ALEEYNE, A.; RODRIGUEZ, L. Information technology and agriculture global challenges and opportunities. The Bridge, National Academy of Engineering, Washington DC, v. 41, n. 3, p 6-13, 2011.

UNICA. Acompanhamento quinzenal da safra na região Centro-Sul - Posição até 01/04/2017. Disponível em <<http://www.unicadata.com.br/listagem.php?idMn=63>>. Acesso em 21/04/2017.

VIEIRA, S. R. Geoestatística aplicada à agricultura de precisão. GIS Brasil, v. 98, 2000.

VILLAS BOAS, A. M.; ALVES, S. B. Patogenicidade de *Beauveria* spp. E seu efeito associado ao inseticida monocrotofós sobre *Castnia licus* (Drury, 1770) (Lepidoptera:

Castiniidae). Anais da Sociedade Entomológica do Brasil, Londrina, v.17, n.2, p. 305-332, 1988.

WALDHEIM, P.V. et al. Sugar cane, orange and herbaceous cotton climatic zoning for the Northeast region of Brazil. Anu. Inst. Geocienc. Rio de Janeiro, v. 29, n. 2, 2006.

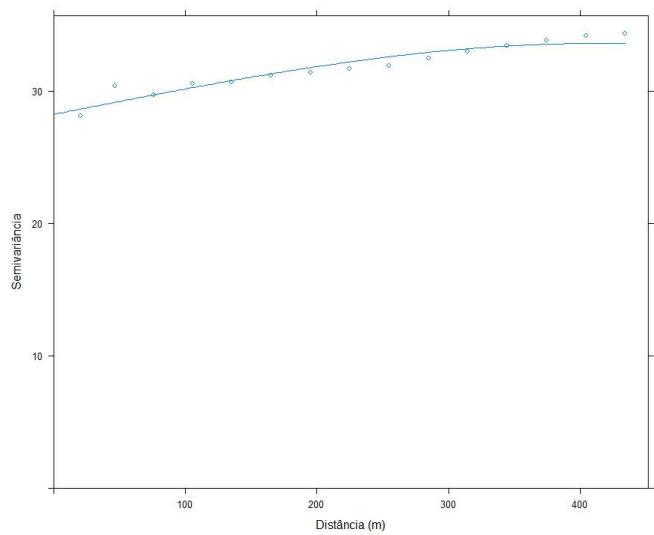
WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical attributes in the field. In: HILLEL, D., ed. Applications of soil physics. New York, Academic Press, 1980. p.319-344.

WAYNICK, D.D.; SHARP, L.T. Variability in Soils and Its Significance to Past and Future Soil Investigations, I-[II]. University of California Press, 1918.

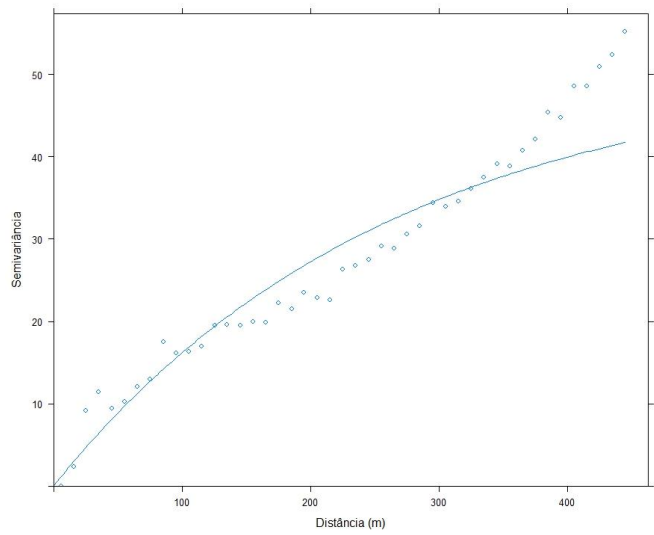
XAVIER, A.C.; VETTORAZZI, C.A. Mapping leaf area index through spectral vegetation indices in a subtropical watershed. International Journal of Remote Sensing, v. 25, n. 9, p. 1661-1672, 2004.

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. Barbosa. Geoestatística: conceitos e aplicações. Oficina de Textos, 2015.

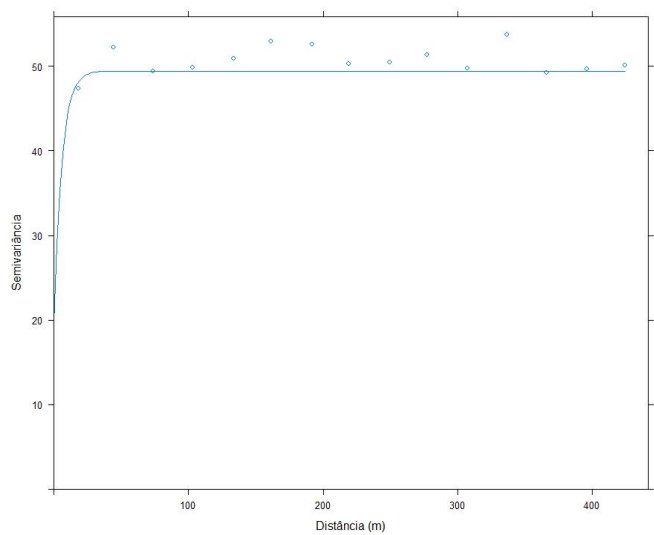
7. ANEXOS



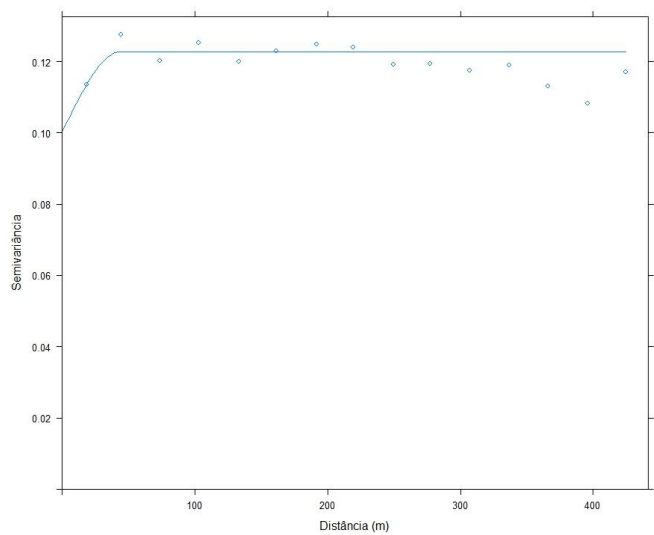
Anexo 1. Semivariograma ajustado da variável CEa (condutividade elétrica aparente) referente à área A.



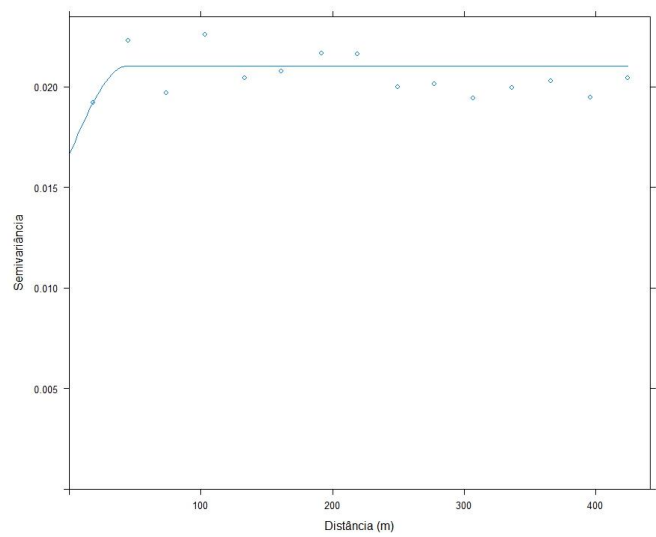
Anexo 2. Semivariograma ajustado da variável ALT (altimetria) referente à área A.



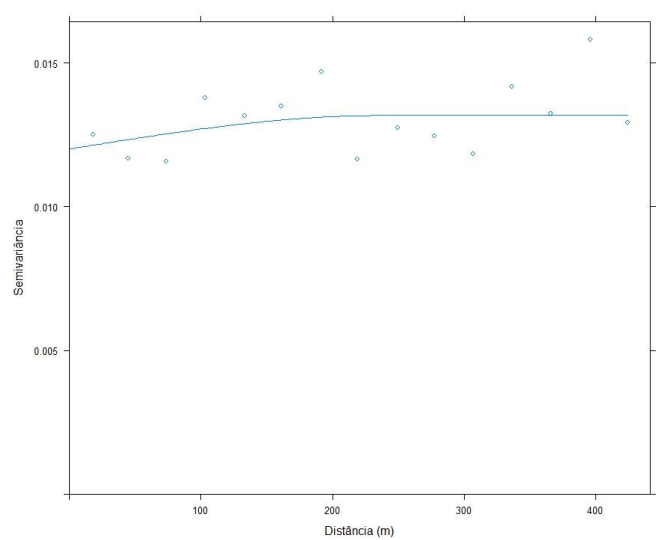
Anexo 3. Semivariograma ajustado da variável %TA (porcentagem de tocos atacados) referente à área A.



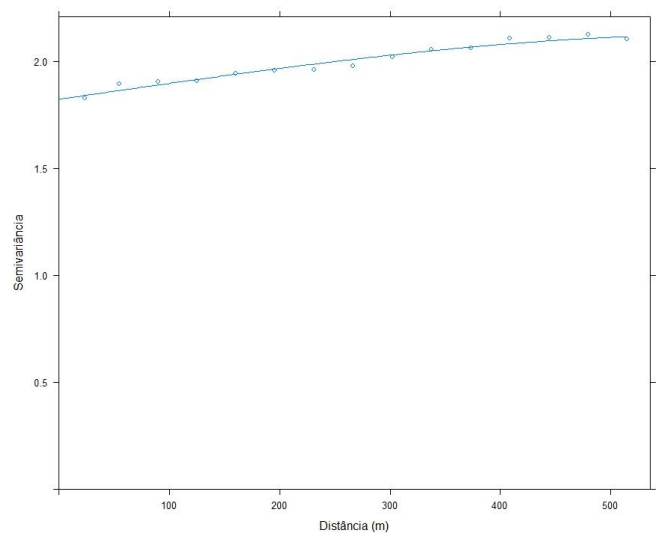
Anexo 4. Semivariograma ajustado da variável LA (larva) referente à área A.



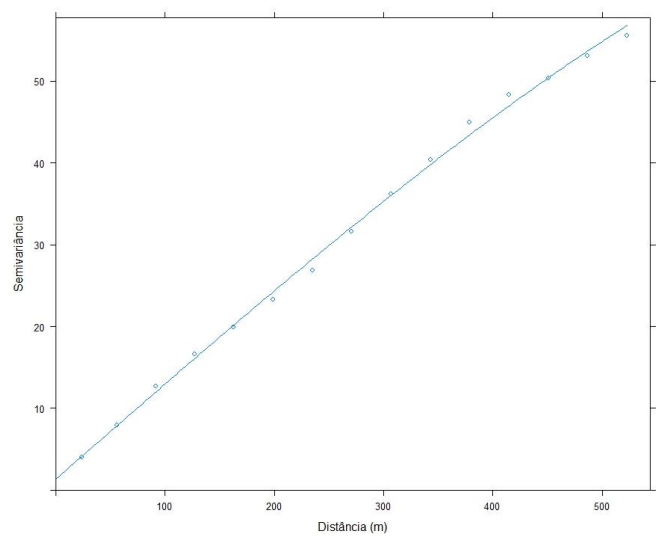
Anexo 5. Semivariograma ajustado da variável PU (pupa) referente à área A.



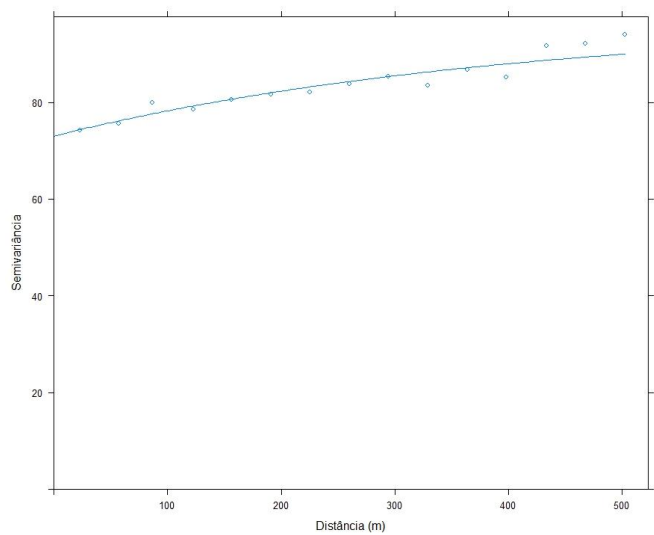
Anexo 6. Semivariograma ajustado da variável AD (adulto) referente à área A.



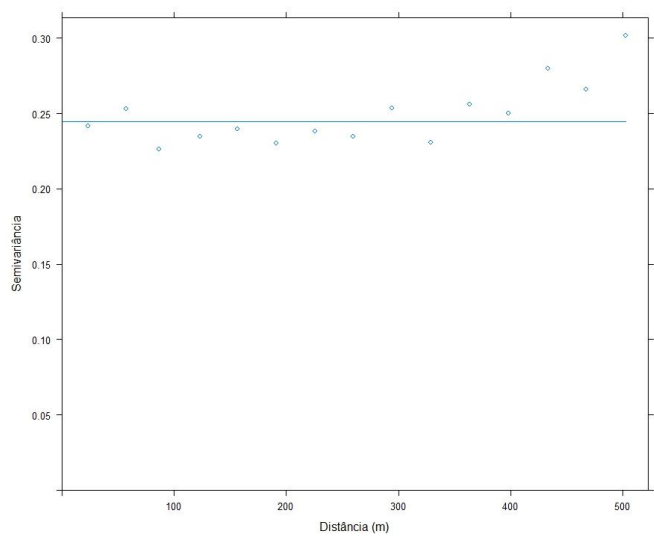
Anexo 7. Semivariograma ajustado da variável CEa (condutividade elétrica aparente) referente à área B.



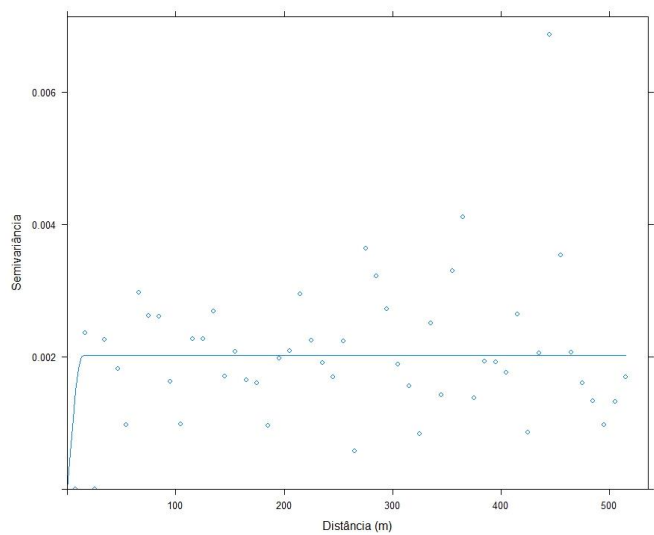
Anexo 8. Semivariograma ajustado da variável ALT (altimetria) referente à área B.



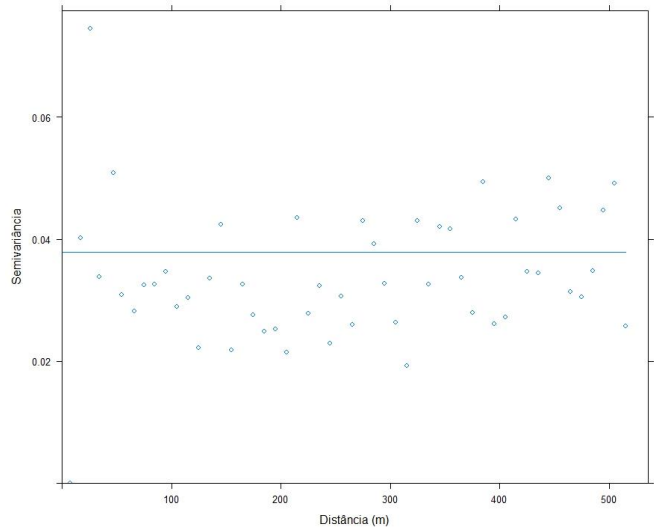
Anexo 9. Semivariograma ajustado da variável %TA (porcentagem de tocos atacados) referente à área B.



Anexo 10. Semivariograma ajustado da variável LA (larva) referente à área B.



Anexo 11. Semivariograma ajustado da variável PU (pupa) referente à área B.



Anexo 12. Semivariograma ajustado da variável AD (adulto) referente à área B.