

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA-UNESP

CÂMPUS DE JABOTICABAL

**VARIABILIDADE ESPACIAL DO BANCO DE SEMENTES DE
PLANTAS DANINHAS EM ÁREA DE CANA-DE-AÇÚCAR**

Roque Flor Dos Santos Júnior

Engenheiro Agrônomo

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA-UNESP

CÂMPUS DE JABOTICABAL

**VARIABILIDADE ESPACIAL DO BANCO DE SEMENTES DE
PLANTAS DANINHAS EM ÁREA DE CANA-DE-AÇÚCAR**

Discente: Roque Flor Dos Santos Júnior

**Orientador: Prof. Dr. Leonardo Bianco
de Carvalho**

**Coorientador: Prof. Dr. Alan Rodrigo
Panosso**

Tese Apresentada à Faculdade de Ciências
Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de
Jaboticabal, como parte das exigências para a
obtenção do título de Doutor em Agronomia
(Produção Vegetal)

2021

S237v	<p>Santos Júnior, Roque Flor dos</p> <p>Variabilidade espacial do banco de sementes de plantas daninhas em área de cana-de-açúcar / Roque Flor dos Santos Júnior. – Jaboticabal, 2021</p> <p>51 p.</p> <p>Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal</p> <p>Orientador: Leonardo Bianco de Carvalho</p> <p>Coorientador: Alan Rodrigo Passos</p> <p>I. Ervas daninhas. 2. Análise espacial. 3. Gráficos de ligação. I. Título.</p>
-------	---

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Esta ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: VARIABILIDADE ESPACIAL DO BANCO DE SEMENTES DE PLANTAS DANINHAS EM
ÁREA DE CANA-DE-AÇÚCAR

AUTOR: ROQUE FLÔR DOS SANTOS JÚNIOR
ORIENTADOR: LEONARDO BIANCO DE CARVALHO
COORIENTADOR: ALAN RODRIGO PANOSSO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA
(PRODUÇÃO VEGETAL), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. LEONARDO BIANCO DE CARVALHO (Participação Virtual)
Departamento de Ciências da Produção Agrícola / FCAV - UNESP - Jaboticabal



Prof. Dr. THIAGO CAVALCANTE GOMES RIBEIRO DE ANDRADE (Participação Virtual)
Universidade Federal do Pará - Campus de Altamira / Altamira/PA



Prof. Dr. CAIO ANTONIO CARBONARI (Participação Virtual)
FCA/UNESP / Botucatu/SP



Prof. Dr. RAFAEL MONTANARI (Participação Virtual)
Departamento de Ciências da Produção Agrícola-FCAV/UNESP / Jaboticabal/SP



Prof. Dr. GENER TADEU PEREIRA (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia e Ciências Exatas (DECEX) / FCAV / UNESP - Jaboticabal



Jaboticabal, 18 de outubro de 2021

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

ROQUE FLOR DOS SANTOS JÚNIOR – nascido no dia 17 de março de 1979, na cidade de Belém, Estado do Pará, filho de Roque Flor dos Santos e Odete de Carvalho. Esposo de Alessandra Simone Santos de Oliveira Flor e Pai de Ana Gabrielle Oliveira Flor, Apollo Roque Oliveira Flor e de Adam Biel Oliveira Flor. Graduou-se em Engenharia Agrônômica pela Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) no ano de 2003. Depois de formado trabalhou no Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Pará (CREA-PA) até 2005, no mesmo ano trabalhou na Secretaria Municipal de Agricultura de Floresta do Araguaia no Estado do Pará. No ano de 2006 ingressou na Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural no estado do Pará (Emater-PA) até o ano de 2011. Em dezembro de 2011 ingressou no Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA) no qual exerce a função de Professor EBTT até os dias atuais. No ano de 2015 concluiu o curso de Mestrado em Gestão de Recursos Naturais e Desenvolvimento Local da Amazônia no Núcleo de Meio Ambiente da Universidade Federal do Pará (Numa-UFPA). No ano de 2018 após a celebração do convênio para o Doutorado Interinstitucional entre o IFPA (Câmpus Castanhal) e a Unesp (Câmpus Jaboticabal). Ingressou no Programa de Doutorado em Agronomia (Produção Vegetal) com a orientação do Prof. Dr. Leonardo Bianco de Carvalho onde estudou a variabilidade espacial do banco de sementes de plantas daninhas em áreas de cana-de-açúcar, cujo resultados e análises estão nesta Tese, o qual submeteu à banca examinadora para obtenção do título de Doutor em Agronomia (Produção Vegetal).

“Nunca desista de seus objetivos mesmo que esses pareçam impossíveis, a próxima tentativa pode ser a vitoriosa”

Albert Einstein

Aos meus pais Roque Flor dos Santos (*in memoriam*)
e minha mãe Odete de Carvalho, aos meus irmãos,
Paula Christiane e Diogo Flor, à minha esposa
Alessandra Simone Santos de Oliveira Flor e aos
meus amados filhos, Ana Gabrielle Oliveira Flor,
Apollo Roque Oliveira Flor, e Adam Biel Oliveira Flor
pelo amor incondicional e apoio.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por tudo e pela vida.

Aos meus pais, Roque Flor dos Santos (*in memoriam*) e a minha mãe Odete de Carvalho, que sempre foram o suporte em minha vida e me amaram incondicionalmente e sempre acreditaram em meu potencial.

À minha amada esposa Alessandra Simone Santos de Oliveira Flor, a qual partilho os momentos mais ricos de minha vida, além de ser meu amor a qual quero passar toda a minha vida, a que me dá apoio nos momentos mais difíceis e me presenteou com a maior riqueza que poderia ter, os nossos filhos.

A minha filha, Ana Gabrielle Oliveira Flor, aos meus filhos, Apollo Roque Oliveira Flor e, Adam Biel Oliveira Flor que são fontes de inspiração do meu dia a dia e do meu amor incondicional.

A minha irmã, Paula Christiane Carvalho dos Santos e ao meu irmão, Diogo Flor Carvalho dos Santos pelo amor fraternal e confiança que ambos depositam em mim.

Ao IFPA – Câmpus Castanhal e a Unesp – Câmpus Jaboticabal, pela oportunidade de fomentar a este doutoramento.

Ao Prof. Dr. Leonardo Bianco de Carvalho, meu orientador, por ter me acolhido no momento mais difícil no trajeto do doutoramento, pela paciência, sensibilidade e por depositar confiança no desenvolvimento da Tese.

Ao Prof. Dr. Alan Rodrigo Panosso, meu coorientador, que depositou confiança e apoio para o desenvolvimento da Tese.

A Ludhanna Veras, pessoa maravilhosa, que em momentos cruciais foi decisiva para tirar minhas dúvidas ao desenvolvimento da Tese.

A todas as pessoas que emitiram, torceram e acreditaram que esse objetivo fosse alcançado.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 Cana-de-açúcar: importância econômica e finalidades	3
2.2 Plantas Daninhas e Banco de Sementes: conceitos e forma de propagação	5
2.3 Interferência das plantas daninhas na cana-de-açúcar.	9
2.4 Levantamento Fitossociológico das Plantas Daninhas	12
2.5 Geoestatística: áreas de estudos e aplicações	13
2.6 Grafos e Redes: definições e aplicações	16
3. MATERIAL E MÉTODOS	18
3.1 Caracterização da Área de Estudo	18
3.2 Coleta de Dados e Levantamento Fitossociológico	19
3.3 Análises Geoestatísticas	20
3.4 Análise de Grafos e Redes	22
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	23
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	39
6. CONCLUSÕES	40
REFERÊNCIA	41

VARIABILIDADE ESPACIAL DO BANCO DE SEMENTES DE PLANTAS DANINHAS EM ÁREA DE CANA-DE-AÇÚCAR

RESUMO – O levantamento fitossociológico adicionada com as técnicas geoestatísticas e análise de redes podem contribuir para monitoramento do banco de sementes revelando o padrão de dispersão das sementes de plantas daninhas em cultivos de cana-de-açúcar e influenciando a tomada de decisão. Logo, a hipótese é que a distribuição e/ou dispersão de sementes das plantas daninhas poderá apresentar variabilidade espacial por estar influenciada por fatores externos mediante ao manejo do solo decorrente da mecanização agrícola no período de reforma do canavial, do relevo por sua declividade e pelo escoamento superficial da área. O objetivo do trabalho foi caracterizar a variabilidade espacial da distribuição do banco de sementes de plantas daninhas em duas áreas respectivamente, encosta superior e meia encosta, por meio do levantamento fitossociológico onde avaliaram-se os parâmetros dos índices de similaridade, frequência e densidade das sementes de plantas daninhas em área de cultivo de cana-de-açúcar. O experimento foi conduzido na cidade de Guariba, São Paulo, na Usina São Martinho, o solo é classificado como latossolo vermelho eutroférico, com produção ativa de mais de 30 anos apresentando em sua paisagem um leve declive. Para caracterização da variabilidade espacial realizou-se a análise geoestatística mediante a demarcação de 55 pontos em cada parte da área total de estudo que foi dividida em duas, a área da encosta superior e a área da meia encosta. Em cada ponto foram extraídas dez subamostras totalizando 550 subamostras por área. Com os dados obtidos empregaram-se as análises geoestatísticas tendo a representação do variograma na descrição gráfica da relação entre as distâncias e entre as áreas observadas em estudo e a média desses valores entre as áreas na visualização da espacialização do banco de sementes. Os resultados demonstraram haver dependência espacial na distribuição do banco de sementes para comunidade que apresentou o alcance máximo com valores de 28,29 m, na encosta superior e 13,53 m, na meia encosta, e que dentro desse limite apresentam distribuição contínua na formação do banco de sementes de plantas daninhas, portanto, após esses limites indicam que os valores são independentes entre si, não havendo autocorrelação. Os mapas de padrão espaciais acusam através do levantamento fitossociológico e da análise geoestatística o comportamento de distribuição das sementes ao longo das áreas. O uso da representação esquemática com a análise de grafos e redes, mediante as análises geoestatísticas dos pontos amostrados, possibilitou por meio de densidade, conectividade e proximidade dos pontos observar o comportamento da distribuição de sementes nas áreas em estudo, encosta superior e meia encosta, revelando que o banco de sementes está em conformidade com o fluxo de escoamento superficial do solo. O emprego das técnicas de geoestatística, o estudo fitossociológico e a análise de redes se complementam e direcionam para identificar as comunidades infestantes e o padrão de distribuição ao longo da área de cana-de-açúcar.

Palavras-Chave: Ervas daninhas, Análise espacial, Grafos de ligação.

SPATIAL VARIABILITY OF THE WEED SEED BANK IN A SUGARCANE AREA

ABSTRACT –The phytosociological survey added with geostatistical techniques and network analysis can contribute to monitoring the seed bank, revealing the pattern of weed seed dispersion in sugarcane crops and influencing decision-making. Therefore, the hypothesis is that the distribution and/or dispersion of weed seeds present spatial variability as it is influenced by external factors through soil management resulting from agricultural mechanization in the period of sugarcane reform, the relief by its slope and by the área runoff. The objective of this work was to characterize the spatial variability of the distribution of weed seeds in two areas, respectively, upper slope and half slope, through a phytosociological survey where the parameters of similarity, frequency and seed density indices were evaluated of weeds in sugarcane cultivation area. The experiment was conducted in the city of Guariba, São Paulo, at Usina São Martinho, the soil is classified as eutroferric red latosol, with active production for more than 30 years, presenting a slight slope in its landscape. To characterize the spatial variability, a geostatistical analysis was performed by demarcating 55 points in each part of the total study area, which was divided into two, the upper slope area and the half slope area. At each point, ten sub-samples were extracted, totaling 550 sub-samples per area. With the data obtained, geostatistical analyzes were used with the representation of the variogram in the graphic description of the relationship between the distances the áreas observed under study and the average of these values between the áreas in the visualization of spatialization of the seed bank. The results showed that there is spatial dependence in the distribution of the seed bank for the community that presented the maximum reach with values of 28.29 m, on the upper slope and 13.53 m, on the middle slope, and that within this limit they presente continuous distribution in the formation from the weed seed bank, therefore, after these limits indicate that the values are independent from each other with no autocorrelation. The spatial pattern maps show, through the phytosociological survey and the geostatistical analysis, the seed distribution behavior along the areas. The use of schematic representation with the analysis of graphs and networks, through geostatistical analyzes of the sampled points, made it possible, through density, connectivity and proximity of the points, to observe the behavior of seed distribution in the areas under study, upper slope and half slope, revealing that the seed bank is in compliance with the soil surface flow. The use of geostatistical techniques, the phytosociological study and the analysis of networks complement each other and guide each other to identify weed communities and the distribution pattern along the sugarcane area.

Keywords: Weeds, Spatial analysis, Connection graphs

1. INTRODUÇÃO

Economicamente, o Brasil é considerado o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo (Conab, 2019), com a produção mundial de açúcar estimada de 17,3% e com exportação de 1,9 bilhão de litros de etanol (Nachiluk, 2020).

No país, a região sudeste, o estado de São Paulo é o que mais se destaca, onde a plantação é em monocultura e destinando a produção em açúcar e álcool atendendo o mercado interno e externo e o etanol é o produto mais valorizado em termos econômicos e ambientais (De Abreu, 2011).

A expansão do etanol de cana-de-açúcar fornece uma solução escalável de curto prazo para reduzir as emissões de CO₂ e pode compensar 86% das emissões de CO₂ em comparação ao uso do petróleo (Jaiswal et al., 2017). No entanto não são conhecidos os efeitos adversos dos impactos ambientais que sustente a produção canavieira, além da inserção dos insumos agrícolas e dos processos produtivos não administrado de forma criteriosa (Bordonal et al., 2018).

A produção de cana-de-açúcar requer manejo adequado no ciclo da cultura para que potencialize o máximo rendimento em sua produção, porém, quando não aplicado o manejo, permite que agentes externos, como as plantas daninhas contribua em grande percentual na queda de produtividade e rendimento da cana-de-açúcar.

As plantas daninhas são agentes antagônicos ou comunidades infestantes que diretamente influencia no custo de produção de várias culturas. Na produção de cana-de-açúcar constatou-se que a perda de produtividade por competitividade com plantas daninhas em diferentes países do mundo varia entre 20-90% (Yirefu et al., 2013).

A interferência das plantas daninhas no plantio de cana-de-açúcar ocorre pela competição por recursos, tais como água, luz e nutrientes, influenciando diretamente na produtividade da cana-de-açúcar.

Segundo Pitelli (2014) a competição pode ser definida como uma relação biótica em que diferentes indivíduos utilizam um mesmo recurso do meio, cuja disponibilidade e provimento não são suficientes para atender a toda a demanda.

Os fatores climáticos, fisiográficos e bióticos determinam a ocorrência e a permanência de determinada espécie em certo ambiente, logo a espécie mais adaptada ao ambiente tende a se perpetuar e distribuir-se na lavoura (Concenço et al., 2014)

Sabe-se que dentre os fatores bióticos, as plantas daninhas são um dos principais componentes do agroecossistema da cana-de-açúcar que interferem no desenvolvimento e na produtividade (Kuva et al., 2008). A interferência das plantas daninhas na atividade canavieira sinaliza a necessidade de um conjunto de estudos que subsidiem na mitigação do uso de insumos e conseqüentemente aos danos ambientais.

Dentre as formas de análise para o controle de plantas daninhas, o levantamento fitossociológico é uma ferramenta de estudos que utiliza parâmetros específicos para definir o percentual de plantas daninhas na lavoura de cana-de-açúcar, considerando a importância que essas plantas indesejáveis possam causar no ciclo da cultura da cana-de-açúcar.

O levantamento fitossociológico é usado para o monitoramento da comunidade infestante e define estratégia de manejo observando a densidade, frequência e dominância das plantas daninhas (Monquero et al., 2014).

O estudo da variabilidade espacial na distribuição do banco de sementes de plantas daninhas em canavial viabiliza a compreensão de como as plantas daninhas se arranjam dentro desse espaço agrícola. Permite a utilização de ferramentas tecnológicas na agricultura de precisão para realizar levantamento de problemas fitossanitários. Portanto, possibilita o manejo em sítio-específico, podendo reduzir a quantidade de agrotóxicos utilizados no sistema de produção agrícola, trazendo benefícios ambientais (Pott et al., 2019).

A variabilidade das sementes de plantas daninhas depende de padrões de paisagem e dos intervalos de perturbação do meio (Sprengelmeyer e Rebertus, 2015). O uso do método geoestatístico para o estudo da distribuição espacial das plantas daninhas tem se disseminado e permitido a análise da continuidade espacial de variáveis da planta e de manejo localizado (Schaffrath et al., 2007) com aplicação de herbicida (Chiba et al., 2010).

As dispersões de sementes de plantas daninhas caracterizam-se por vários fatores, sejam eles intrínsecos relacionados à morfologia e/ou fisiologia ou extrínsecos que advém por agentes específicos. Ademais, as dispersões apresentam caráter anisotrópico, onde sua distribuição dá-se em várias direções não congruentes.

As características das plantas daninhas em dispersar suas sementes, bem como o volume de sementes que cada planta produz torna-se um grande desafio para os produtores de cana-de-açúcar, uma vez que grande parte dessas sementes

dispersadas pelas plantas matrizes manifestam-se a germinação de forma assíncrona, facultando diversas possibilidades de germinação em várias épocas concomitantes com o ciclo de produção da cana-de-açúcar, causando uma verdadeira dificuldade em seu controle.

Nos plantios de cana-de-açúcar, a distribuição de sementes de plantas daninhas está imbuída numa rede complexa de interações moldada por ações do ambiente de cultivo. Para isso a análise de redes pode identificar localizações geográficas importantes para a implementação eficiente de amostragem e mitigação (Garret et al., 2018). As redes são usadas para modelar problemas de decisão sob incerteza e para otimizar essas decisões (Tixier et al, 2013).

O levantamento fitossociológico adicionada com as técnicas geoestatísticas e análise de redes contribui para o monitoramento do banco de sementes de plantas daninhas, além de caracterizar seu padrão de distribuição em cultivos de cana-de-açúcar e influenciar na tomada de decisão para o manejo específico.

O advento de ferramentas tecnológicas auxilia no manejo e controle das plantas daninhas, e favorece para a compreensão da biologia e do comportamento dessas plantas infestantes que competem com a cana-de-açúcar.

A hipótese da distribuição e/ou dispersão do banco de sementes das plantas daninhas poderá apresentar variabilidade espacial mediante ao manejo do solo decorrente da mecanização agrícola no período de reforma do canavial, do relevo por sua declividade e pelo escoamento superficial da área. O objetivo do trabalho foi caracterizar a variabilidade espacial da distribuição do banco de sementes de plantas daninhas realizando o levantamento fitossociológico por meio dos índices de similaridade, frequência e densidade em área de cultivo de cana-de-açúcar com auxílio de métodos geoestatísticos e análise de redes.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Cana-de-açúcar: importância econômica e finalidades

O cultivo comercial de cana-de-açúcar ocorre em mais de 70 países e territórios, Brasil, Índia e China são os maiores produtores (Nocelli et al., 2017). A estimativa de produção mundial de açúcar safra 2019/2020 será em torno de 174 milhões de toneladas, enquanto a exportação da produção Brasileira de etanol no

terceiro trimestre de 2020 encontra-se com 1,74 bilhões de litros (MAPA, 2020; Nachiluk,2020).

Segundo Silva et al. (2019) o complexo canavieiro brasileiro ocupa posição privilegiada entre os setores-chaves do país, uma vez que ele possui influências em questões sociais (emprego, uso da terra e segurança alimentar), ambientais (qualidade do ar e do solo, uso da água e biodiversidade) e econômicas (segurança energética, balanço de pagamentos e inflação).

A participação dos biocombustíveis vem aumentando na matriz energética mundial e a perspectiva é que essa tendência se mantenha, logo, observa-se a importância do uso de biocombustíveis para suprir a demanda global de energia, além de serem produzidos a partir de biomassa vegetal, emitem menores quantidades de dióxido de carbono e de partículas poluentes ao ambiente quando utilizados e possuem grande vantagem por serem combustíveis renováveis (Masson et al., 2015; Gallardo et al., 2016).

Por conta disso, o constante aumento da demanda energética e de matéria-prima fomentou a procura por fontes alternativas renováveis e uma das poucas fontes que tem potencial para atender a estes desafios de sustentabilidade é a biomassa, que aparenta ser uma alternativa viável quando comparada aos recursos tradicionais para a produção de combustíveis de transportes e de produtos químicos (Nascimento et al.,2020). Nesta ótica, a produção de cana-de-açúcar no Brasil é um exemplo importante de sistema de produção sustentável de energia, em larga escala, a partir da biomassa (Barreto et al.,2017).

De acordo com Torquato et al. (2015) o setor sucroalcooleiro melhorou a sua eficiência no processo produtivo conforme a introdução de inovações agrícolas que resultaram em ganho de produtividade, na produção de açúcar e álcool e na utilização da energia (vapor, calor, energia elétrica).

O investimento nessas novas tecnologias tornou-se extremamente vantajoso, pois ao mesmo tempo em que evita a transgressão das normas ambientais, economiza recursos financeiros, com o reúso da água, a cogeração baseada na biomassa, a substituição do homem pela máquina e o uso da vinhaça como fertilizante (Rodríguez e Ross, 2020).

O investimento tecnológico estimulou pesquisas na inovação varietal e apresentou variedades menos exigentes em termos de solo e clima, altamente

produtivas e que podem ser usadas na recuperação de áreas degradadas (Lankriet e Poppe, 2019).

O uso da cana-de-açúcar tem outras finalidades como planta forrageira, principalmente em períodos quentes e secos, época em que ocorre a maior deposição de sacarose, melhorando o seu valor nutritivo (Bezerra et al., 2018). É muito recomendada como suplementação de dieta de volumosos para ruminantes. Sendo considerado uma atividade rentável que atende à demanda pela fabricação de açúcar mascavo de forma conjugada com a rapadura e o melado, no âmbito da agricultura familiar (Jerônimo, 2018; Santos et al., 2018).

2.2 Plantas Daninhas e Banco de Sementes

Segundo Brighenti e Oliveira (2011) as plantas daninhas são consideradas como toda e qualquer planta que ocorre e não é desejada. Definem-se como qualquer planta que cresça espontaneamente em um local de atividade humana e cause prejuízos a essa atividade (Carvalho, 2013). O termo planta daninha deve ser adotado para designar qualquer planta superior que interfira nos interesses do homem e no meio ambiente (Pitelli, 2015).

As plantas daninhas não devem ser vistas como indesejáveis, pois apresentam muitos aspectos positivos, tais como proteção do solo contra erosão, importância apícola, valor ornamental, uso medicinal, fixação de nitrogênio, entre outros (Silva et al, 2021).

Apesar de inúmeras utilidades, as plantas daninhas apresentam aspectos negativos que interferem na saúde do homem e nas suas atividades, causando sérios prejuízos (Brighenti e Oliveira, 2011).

Os aspectos negativos podem ser destacados como redução da produtividade e do valor da terra, perda da qualidade do produto agrícola, disseminação de pragas e doenças, maior dificuldade de custo do manejo agrícola, problemas com manejo e perda da água, entre outros (Carvalho, 2013).

As plantas daninhas são naturalmente adaptadas ao ambiente em que estão inseridas e possuem capacidade de crescer rapidamente, principalmente quando comparadas às plantas cultivadas com foco na produtividade (Silva et al., 2021).

No processo evolutivo as plantas daninhas adquiriram grande agressividade, caracterizada por elevada e prolongada capacidade de produção de diásporos

dotados de alta viabilidade e longevidade capazes de germinar de maneira descontínua em muitos ambientes (Pitelli e Durigan, 2001).

Segundo Carvalho (2013) a agressividade pode ser entendida como a capacidade da planta se estabelecer e perpetuar em determinado local levando em consideração aspectos relacionados à competição por sobrevivência, capacidade de interferência e adaptação da população ao meio ambiente.

A alta produção de sementes em ambientes constantemente perturbados é um dos principais mecanismo de sobrevivência das plantas daninhas por apresentar algum dispositivo de dormência que constitui a perpetuação da espécie (Vivian et al., 2008).

A elevada produção de sementes pelas plantas daninhas visa a maximizar a chances de perpetuação no ambiente, aliada à dormência permite a presença da semente no solo por diversos anos, garantindo diversos fluxos de germinação de plantas daninhas (Silva et al., 2021). Além disso, a facilidade de dispersão das sementes é uma característica importante das plantas daninhas, que faz com que sejam capazes de colonizar locais distantes da planta geradora (Lai et al., 2021).

As plantas daninhas classificam-se em três amplos grupos que são as de ciclos anuais, as bienais e as perenes, que estão dispostas em duas categorias, as monocotiledôneas e as eudicotiledôneas (Rao, 2000). As plantas anuais são as que completam seu ciclo com produção de sementes em um ano, as bianuais o ciclo acontece no segundo ano de vida e as perenes mantêm-se vivas durante anos, reproduzindo-se todos os anos, tanto por sementes como vegetativamente (Gazziero et al., 2001).

Assim como qualquer planta, as plantas daninhas, podem reproduzir-se por meio sexuado (reprodução sexuada ou seminífera) ou por meio assexuado (reprodução assexuada ou vegetativa), e pode apresentar os dois tipos de reprodução, sexuada e assexuada, na mesma planta (Carvalho, 2013).

Em relação à forma de dispersão, há classificação mais específica por alocria tais como: anemocoria (vento), hidrocoria (água), zoocoria (animais) e antropocoria (homem), conforme o grau de especialização ao vetor de dispersão (Deuber, 1992; Carvalho, 2013; Christianini e Martins, 2015).

A dispersão trata-se da locomoção/transporte de sementes de plantas daninhas, sendo a disseminação o espalhamento tanto de sementes como de

estrutura vegetativas (Lai et al., 2021). Considera-se como o movimento unidirecional de um organismo para longe de seu local de nascimento (Levin et al., 2003).

O vento é um grande agente de dispersão, sementes de plantas daninhas são pequenas e leves e mesmo desprovidas de estruturas específicas são facilmente disseminadas pelo vento e distribuídas a longa distância (Lai et al., 2021).

Quando disseminada por hidrocoria, as plantas daninhas, ocorre por meio de água de chuvas, córregos, rios e inundações (Brighenti e Oliveira, 2011; Lai et al., 2021). É comum no Brasil o transporte de sementes de plantas daninhas por canais de vinhaça na cana-de-açúcar (Lai et al., 2021).

O estudo sobre a dinâmica dos propágulos no solo é um fator importante para a compreensão da ecologia e classificação das plantas daninhas, logo, esses estudos são básicos para a compreensão do grau de interferência das plantas daninhas sobre as culturas (Blanco, 2014).

Quanto ao banco de sementes, este, é o local de descanso das sementes de plantas daninhas e constitui um componente importante do ciclo de vida das plantas daninhas, onde, são a única fonte de futuras populações de plantas daninhas anuais e algumas espécies perenes que se reproduzem por sementes (Kumar et al., 2019).

Segundo Carvalho (2013) considera mais adequado o termo disseminulo para descrever o montante de estruturas de reprodução de plantas presentes no solo ou nos restos vegetais como banco de disseminulo.

Todas as sementes viáveis presentes na superfície ou enterradas no solo constituem o banco de sementes do solo, essas sementes são armazenadas decorrentes da distribuição vertical no perfil do solo (Braccini, 2011).

A composição de espécies e densidades de sementes de plantas daninhas no solo varia conforme às práticas de cultivo e com a rotação de culturas que muda a profundidade das sementes de plantas daninhas no solo e afetam o banco de sementes das plantas daninhas (Buhler, Hartzler e Forcella, 1997).

Em solos agrícolas, o banco de sementes representa o montante de sementes e propágulos vegetativos de espécies de plantas daninhas distribuídas ao longo do perfil do solo, sendo, portanto, fonte primária da infestação de plantas daninhas (Lai et al., 2021).

O banco de sementes é classificado em dois tipos fundamentais: o transitório e o persistente (Thompson e Grime, 1979; Braccini, 2011). Um banco de sementes transitório é definido como aquele em que as sementes não vivem até a segunda

estação de germinação após a maturação, enquanto as sementes em um banco de sementes persistente vivem até a segunda estação de germinação ou subsequente (Walck et al., 1996; Lai et al., 2021).

A permanência da viabilidade de sementes no banco de sementes do solo depende de fatores que interagem, como práticas de produção e condições ambientais (Neve et al., 2011; Korres et al., 2018).

Os bancos de sementes do solo são tipicamente caracterizados por sua longevidade e são determinados por quanto tempo uma semente individual pode residir dentro dela em um estado viável que depende principalmente das espécies de plantas (Hossain e Begum, 2015).

O tamanho, a densidade e a composição botânica do banco de sementes são variáveis de acordo com o histórico de uso da área e das práticas de manejo adotadas e da vegetação emergente, ou seja, variam de campo para campo e entre áreas dentro dos campos (Carvalho, 2013; Kumar et al., 2019; Lai et al., 2021).

A dinâmica do banco de sementes ou disseminulos pode ser compreendido como a entrada e saída de estruturas de reprodução do solo e determinam a densidade do banco de disseminulo (Carvalho, 2013).

Segundo Lai et al. (2021) o banco de sementes no solo é regulado por processos de adição (entrada) e diminuição (saída de sementes), sendo complexas às relações que envolvem esses processos. Caso os processos de entrada ocorram mais intensamente, a densidade do banco vai aumentar, sendo o contrário verdadeiro (Carvalho, 2013).

Segundo Cavers (1995) as sementes podem permanecer viáveis por vários anos no solo, onde são adicionadas anualmente ao banco de sementes do solo auxiliando no estabelecimento futuro de novas comunidades de plantas.

A germinação da semente e o sucesso do seu estabelecimento requerem mecanismos que previnam a germinação antes de se alcançar o período ótimo e, também, durante aquele cujas condições de crescimento e sobrevivência sejam desfavoráveis (Vivian et al., 2008).

A longevidade das sementes de plantas daninhas depende principalmente de variáveis como a dormência dessas sementes e a presença das sementes em várias profundidades de solos experimentando diferentes condições edáficas e a viabilidade variável das sementes (Kumar et al., 2019).

A dormência e germinação de sementes e propágulos de plantas daninhas são processos inteiramente ligados à dinâmica do banco de disseminulo (Carvalho, 2013).

Quando sementes de determinadas espécies, mesmo sendo consideradas viáveis, não germinam, embora sejam fornecidas todas as condições ambientais necessárias para tanto, elas são denominadas dormentes (Braccini, 2011).

A dormência da semente evita a germinação durante condições que seriam ideais para a germinação, onde a maioria das sementes de plantas daninhas está dormente no momento da maturidade referindo-se como dormência primária (Hossain e Begum, 2015).

Quando as sementes de plantas daninhas devido à condição ambiental sofrem regulação de germinação sazonal, ou seja, as sementes podem sair e entrar do estado dormente é considerado como dormência secundária (Baskin e Baskin, 1998; Hossain e Begum, 2015; Penfield e MacGregor, 2017).

A dormência é importante para manter um montante de disseminulos viáveis no solo que serão fonte de infestações futuras e sobrevivência das populações (Carvalho, 2013).

O conhecimento sobre as práticas agrícolas e a seleção destas nas características de dormência das sementes de plantas daninhas pode ser fundamental para prever mudanças nas características de dormência ou prever o aparecimento de novas espécies de plantas daninhas em cenários agrícolas futuros (Batlla, Ghera e Benech-Arnold, 2019).

2.3 Interferência das plantas daninhas na cana-de-açúcar.

O termo interferência refere-se ao conjunto de ações que recebe uma determinada cultura ou atividade do homem em decorrência da presença de plantas daninhas num determinado ambiente (Pitelli, 1987).

As plantas daninhas surgiram de um processo dinâmico de evolução ao adaptarem-se às perturbações ambientais provocadas pela natureza ou pelo homem através da agricultura (Christoffoleti et al., 1994). Para seu desenvolvimento, as plantas daninhas necessitam dos mesmos fatores exigidos pela cultura, ou seja, água, luz, nutriente e espaço, estabelecendo um processo competitivo quando cultura e plantas daninhas se desenvolvem em um mesmo local (Pitelli, 1987; Vasconcelos et al., 2012).

Fatores climáticos, fisiográficos e bióticos determinam a ocorrência e a permanência de determinada espécie em certo ambiente, ou seja, a espécie mais adaptada tende a perpetua-se e distribui-se nas áreas agrícolas (Concenção et al., 2014).

A ocorrência das plantas daninhas em áreas agrícolas pode levar a redução da produtividade das culturas, resultando em prejuízos que podem chegar à perda total nas lavouras (Fontes et al., 2003). No entanto, os prejuízos observados nas plantas cultivadas em função das plantas daninhas não podem ser atribuídos apenas a competição, mas um conjunto de pressões ambientais direta e indiretamente (Brighenti e Oliveira, 2011).

O conjunto de ações ou efeito integrado de fatores em que, recebe uma determinada cultura em decorrência da presença da comunidade infestante é denominada de interferência (Pitelli, 1985).

Conforme Pitelli (1987) há dois tipos de interferência de plantas daninhas nas culturas agrícolas, a interferência direta por meio da competição por recursos como nutrientes água, luz e espaço e, interferência indireta que atuam como hospedeiro alternativo de pragas, moléstias, nematoides e plantas parasitas.

O grau de interferência normalmente é avaliado com base na produção da cultura, sejam grãos, tubérculos, folhas, fibras, madeira, frutos ou qualquer estrutura vegetal que está sendo explorada comercialmente (Pitelli, 2014). Essa interferência provocada pelas plantas daninhas reduz o percentual do crescimento ou produtividade (Brighenti e Oliveira, 2011).

De maneira geral, quanto mais longo o tempo de convivência, mais intenso poderá ser o grau de interferência, logo, a época e a extensão do período de convivência são uns dos principais fatores que afetam o grau de interferência entre culturas e plantas daninhas (Carvalho, 2013; Hijano et al., 2021).

Dentre estes fatores, a época e a extensão do período de convivência são uns dos principais fatores que afetam o grau de interferência entre culturas e plantas daninhas (Hijano et al., 2021).

No cultivo de cana-de-açúcar, as plantas daninhas são um dos fatores que interferem e mais causam prejuízos, pois limitam o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade do produto, ademais o potencial de redução é variável e depende da severidade de infestação e das principais espécies presentes (Ferreira et al., 2011; Galon et al., 2011). Para que essa perda não seja tão relevante, a cana-de-açúcar

deve estar livre da convivência da planta daninha entre 03 à 12 semanas (Yireful et al., 2012).

Conforme Paula et al. (2018) o aumento proporcional da densidade de plantas daninhas em cultivo unilateral com a cana-de-açúcar declina o crescimento inicial da cana. A interferência das plantas daninhas com densidade estimada de 280 plantas/m² em 60 dias após o plantio influencia na altura, número de folhas e área da folha do leme principal da cana-de-açúcar (Giraldeli et al. (2018). Logo, o aumento da competição das plantas daninhas com a cana-de-açúcar reduz linearmente o rendimento da cana quanto aos parâmetros de produtividade (Takim et al. 2014).

Segundo Silva et al. (2009) a convivência da cana-de-açúcar com a comunidade infestante em período de 229 dias após o cultivo e adubação e início de brotação correspondeu a redução de 34% na densidade de colmo por metro e 46% na produtividade. Aos 120 dias as plantas daninhas interferiram na altura, número de perfilhos e acúmulo de massa seca de mudas pré-brotadas, o que reflete o prejuízo de 100% nas variáveis produtividade de colmo e gemas (Zera et al., 2016; Amaral et al., 2019).

Outro detalhe a considerar estar na geometria do plantio, pois a cana-de-açúcar em convivência com plantas daninhas em espaçamento abaixo de 60 cm entre linhas de plantio reduz o rendimento e a produção, quando comparado ao aumento do espaçamento dessas linhas que está diretamente proporcional ao aumento da produtividade da cana-de-açúcar (Ehsanullah et al., 2011; Munsif et al., 2019).

Em período crítico de prevenção da interferência da planta daninha com a soqueira de cana-de-açúcar observou perda de 50% de produtividade afetando negativamente a qualidade do produto colhido (Bressanin et al., 2016). Para não sofrer com a perda significativa na diminuição de produção, a cana-de-açúcar tolera de 0 a 41 dias de convivência inicial com as plantas daninhas (Kuva et al., 2000).

Portanto, o conhecimento sobre a natureza e extensão da infestação da flora de plantas daninhas em canaviais por meio de levantamentos das plantas daninhas é essencial na formulação e nas relevantes estratégias para o seu controle (Takim e Amodu, 2013).

2.4 Levantamento Fitossociológico das Plantas Daninhas

A fitossociologia é o ramo da ecologia que trata do estudo abstrato das características, classificação, relações, distribuição e evolução das comunidades vegetais, procurando estabelecer relações sociais matemáticas e estatísticas entre espécies e comunidades e destas com o ambiente, determinando suas afinidades e forma de agrupamento (Floriano, 2009).

Nos trabalhos de Ellen e Mueller-Dubois (1974), para apresentar parâmetros que definem a representatividade de plantas recorrentes é importante que a composição das espécies da comunidade esteja adequadamente representada, tais como: ser o grande o suficiente para conter todas as espécies pertencentes à comunidade; o habitat deve ser uniforme dentro da área do estande, tanto quanto se possa determinar isso; a cobertura vegetal deve ser o mais homogêneo possível.

A primeira etapa de um manejo adequado de plantas daninhas em uma lavoura envolve a identificação das espécies presentes na área e daquelas que têm maior importância, levando-se em consideração os parâmetros de frequência, densidade e dominância (Oliveira e Freitas, 2008).

As plantas daninhas podem reduzir a produtividade o que justifica a necessidade de seu manejo eficiente entendendo que a flora daninha é influenciada em sua composição em função da planta de cobertura (Fernandes Lima et al., 2014; Krenchinski et al., 2016).

A partir do levantamento fitossociológico é possível planejar estratégias preventivas para o controle sustentável de planta daninhas levando em consideração uma técnica eficiente para o reconhecimento da flora daninha ocorrente nas áreas de cultivo (Adegas et al., 2010; Cardoso et al., 2013;).

Os levantamentos fitossociológicos são úteis como ferramentas para lançar luz sobre a dinâmica das espécies de plantas daninhas e suas interações em campos aráveis (Concenço et al., 2013 a). Estudos relacionados ao comportamento social das espécies vegetais infestantes são fundamentais para dar suporte a agricultura sustentável, uma vez que a interferência dessas espécies pode causar perdas significativas de produtividade, especialmente em culturas com menor capacidade de competição por recursos com as espécies invasoras (Concenço et al., 2013 b).

O levantamento fitossociológico permite identificar e quantificar as principais espécies de plantas daninhas presentes nas lavouras. É, desta forma, uma ferramenta

fundamental para determinar a forma mais eficiente de manejo da planta daninha (Nunes et al., 2018).

O levantamento de espécies de planta daninhas dá-se pelo fato de apresentarem produção de sementes viáveis e longevas com germinação de forma descontínua e adaptações especiais de disseminação a curta e a longa distância (Amim et al., 2016).

Segundo Monquero et al., (2014) o levantamento permite o monitoramento da comunidade infestante e a definição de estratégias de manejo, os métodos vão desde avaliações visuais de porcentagem na cobertura do solo até mapeamento com equipamento sofisticados. Logo o estudo fitossociológico das plantas daninhas é imprescindível para determinação e aplicação do manejo das espécies daninhas (Gomes et al., 2010).

Em estudos de plantas daninhas, no cultivo de cana-de-açúcar, com alto índice de valor e importância observou-se grande adaptação e habilidade na produção de grande número de sementes no solo (Bassegy, 2020). As estratégias das plantas daninhas permitem que elas permaneçam em áreas cultivadas por gerações no solo e a formação do banco de sementes é um deles (Lousada et al., 2013).

O banco de sementes no solo em área de cultivo, apresentam uma ampla gama de gêneros de plantas daninhas, mostrando boa adaptabilidade as condições biológicas e climáticas (De Barros et al., 2018). Isso permite compreender, que os atributos ecológicos das plantas daninhas variam de lugar para lugar (Iqbal et al., 2015).

Assim, o estudo da dispersão das plantas daninhas compõe um importante fator na ecologia dessas plantas, da capacidade de novas infestações ao longo do tempo por meio da reserva de sementes e/ou propágulos vegetativos num sistema agrícola (Martinelli et al., 2019).

2.5 Geoestatística: áreas de estudos e aplicações

A geoestatística pode ser considerada como um conjunto de técnicas numéricas que tratam da caracterização de atributos espaciais, empregando principalmente modelos aleatórios de maneira semelhantes à forma como a análise de séries temporais caracteriza datas temporais (Olea, 1999). Tem por objetivo a caracterização espacial de uma variável de interesse por meio do estudo de sua

distribuição e variabilidades espaciais com determinação das incertezas associadas (Yamamoto e Landim, 2013).

A geoestatística surgiu na África do Sul em trabalho com dados de concentração de ouro, no qual se concluiu que não era possível encontrar sentido nas variâncias, se não fosse levado em conta a distância entre as amostras (Vieira et al., 2008).

Na África do Sul, o engenheiro de minas Daniel G. Krige e o estatístico H.S. Sichel, desenvolveram empiricamente uma técnica própria de estimativa para o cálculo de reservas minerais, a qual posteriormente recebeu tratamento formal por G. Matheron, no início dos anos 60 do século passado, na França com o nome Geoestatística, para o estudo das chamadas variáveis regionalizadas, ou seja, variáveis com condicionamento espacial (Landim, 2006).

Uma marca atual da geoestatística que explica seu sucesso e aplicação está em diversos campos como mineração, petróleo, ciência do solo, oceanografia, hidrologia, sensoriamento remoto e ciências ambientais (Goovaerts, 1997). Isso deve-se aos modelos espaço-temporais geoestatísticos onde fornecem uma estrutura probabilística para análise de dados e predições que se baseiam no conjunto espacial e dependência temporal entre observações (Kyriakidis & Journel, 1999). Uma característica crítica da geoestatística é a capacidade de integrar fontes de dados múltiplos e díspares (Pyrz & Deutsch, 2014).

A geoestatística é principalmente a aplicação da teoria das variáveis regionalizadas, onde o semivariograma é a ferramenta central e fornece as informações espaciais essenciais para a estimativa local por krigagem otimizando a intensidade da amostra (Oliver, 1987).

A escola geoestatística fez contribuições importantes para estimativa linear de variáveis espaciais, incluindo a popularização do variograma e da função de covariância regionalizada (Kitanidis, 1997).

Para a ecologia, a geoestatística traz novas ferramentas para a interpretação dos padrões espaciais dos organismos, dos numerosos componentes ambientais com os quais eles interagem e da dependência espacial conjunta entre os organismos e seu ambiente (Rossi et al., 1992).

No campo das ciências agrárias, em estudos do solo, a geoestatística fornece um meio eficiente de incorporar a dependência espacial na variabilidade das

propriedades do solo e na produção de grãos identificando onde estão localizadas as baixas e altas produtividade (Martelli e Piroli, 2015).

A definição da variabilidade espacial de atributos físicos do solo pode possibilitar o melhor controle dos fatores de produção das culturas e proteção ambiental (Souza et al, 2010). Além de possibilitar maior precisão científica nas recomendações à variabilidade espacial dos solos (Vieira, 2000).

Em trabalhos na produção vegetal, o emprego da geoestatística é visto em programas de agricultura de precisão para a citricultura (Farias et al, 2003); na incidência de doenças no tomateiro (Quartezani et al., 2018), e no cultivo de banana (Zucoloto et al., 2009), além de possibilitar a avaliação do estado nutricional e produtividade do cafeeiro (Silva & Lima, 2012). Essa são os espectros de diversificações em que há o emprego da técnica geoestatística.

Outra área de interesse no campo das ciências agrárias com uso do método geoestatístico é o estudo sobre plantas daninhas na agricultura de precisão. No trabalho de Voll (2000), a variabilidade espacial é descrita por um semivariograma que expressa a dependência espacial entre a densidade de plantas daninhas a diferentes distâncias de separações e direções. Possibilitando o melhor entendimento e controle de plantas daninhas baseado na predição de fenômenos biológicos no espaço tempo Shiratsuchi et al. (2003).

Estudo sobre a distribuição espacial das plantas daninhas são importantes no contexto agrônômico e ambiental. A utilização da ferramenta geoestatística oferece a elaboração de mapeamento com vistas ao uso de estratégias de manejo localizados (Schaffrath et al., 2007). Isto por sua vez podem trazer o duplo benefício da economia de insumos e da prevenção da qualidade do ambiente (Chiba et al., 2010).

A formulação de mapa de risco de infestação de plantas daninhas com uso da geoestatística considerando a variabilidade espacial, aumenta a eficiência do insumo, reduz custo e o impacto ambiental tornando o ambiente agrícola mais bem controlado (Bressan et al., 2006), e por meio da agricultura de precisão associado ao levantamento fitossociológico tem sido utilizado no controle localizado da infestação (Nagahama et al., 2014), com aplicações de herbicida em manejo integrado (Ferreira et al., 2013). Assim, a eficácia das aplicações de herbicidas pode ser revisada e locais específicos onde o controle de ervas daninhas é ineficaz podem ser identificados (Silva Júnior et al., 2012).

Recentemente, maior consideração tem sido dada aos fatores externos de distribuição de plantas daninhas, incluindo a relação entre plantas daninhas e propriedades ambientais, bem como fatores antropogênicos de distribuição de plantas daninhas (Somerville et al., 2020). As práticas agrícolas intensivas, mudanças climáticas e desastres naturais afetam a dinâmica das plantas daninhas e isso requer uma mudança nos protocolos de manejo de plantas daninhas (Bajwa et al., 2015). Além disso, a variação das propriedades do solo é apenas um dos muitos fatores que alteram a ocorrência irregular dessas plantas (Nagahama et al., 2014).

Segundo Humston et al. (2005) há anisotropia significativa considerável na dispersão antropogênica de sementes de plantas daninhas em relação a dispersão natural, pois a direcionalidade na propagação é assinatura da vetorização antropogênica, enquanto a simetria radial reflete a dispersão natural.

Então, os programas de manejos de plantas daninhas com auxílio de análise geoestatística possibilita compreender a previsão da densidade, da formação do banco de sementes e o padrão de germinação e formação de mudas (Roham et al., 2014).

2.6 Grafos e Redes: definições e aplicações

Segundo Estrada (2015) a teoria de grafos surgiu no século XVIII em 1736 quando o matemático Leonhard Euler publicou “A solução de um problema relacionado com a teoria da posição. É comparada com a história da Matemática, além de ser bastante recente, destacando-se G. Kirchhoff e A. Cayley como os primeiros cientistas a trabalharem nesta linha de pesquisa (Bisognin et al., 2001).

Quanto à definição, Segundo Chartrand (1977) é um conjunto finito não vazio V junto com uma relação simétrica irreflexiva R em V , onde V é o conjunto de vértices em G , enquanto E , consiste em dois pares ordenados simétrico em R chamada de arestas, representando o conjunto de aresta de G . O grafo é uma estrutura de dados $G = (V, E)$, onde V é um conjunto discreto, onde os elementos são chamados vértices, nós ou pontos, enquanto E é entendido como uma relação ou conjunto de relações de adjacências que são chamados de ligações (Santana et al., 2009; Boaventura Netto, 2011; Simões-Pereira, 2013). Em um contexto de sistemas espaciais, os nós podem representar, por exemplo, localizações ou objetos no espaço, grupos ou agregados destes últimos, ou suas propriedades (Heckmann et al., 2015). De forma mais simples

o conceito de grafo pode ser definido como um conjunto de pontos e um conjunto de linhas ou arestas conectando pares de pontos (Freeman, 1978).

No entanto há outra terminologia onde grafo é usado como rede, porém este termo “rede” ficou reservado para quando as linhas ou vértices do grafo são afetados de valores (Simões-Pereira, 2013). Neste caso, rede complexa é uma forma de modelar a natureza onde as propriedades de um elemento são resumidas às conexões que ele estabelece com outros elementos do mesmo sistema e a sua estrutura pode ser representada por um grafo (Lyra e Oliveira, 2011).

A estrutura de rede é bem representada em sua topologia por um grafo que é um diagrama formado por um conjunto de vértices interconectados por linhas de ligação entre si (Ribas et al., 2016).

A teoria dos grafos é uma ferramenta empregada em empresas de prestação de serviços, em representações de redes de distribuição de produtos, redes de comunicação e transporte, além de seu grande potencial de aplicabilidade, em vasto o número de pesquisas (Pará et al., 2019). Tem extensa utilização em matemática aplicada, pois demonstra ser uma poderosa ferramenta para a modelagem de diversas situações reais em física, química, biologia, engenharia elétrica e pesquisa operacional (Machado e Trevisan, 2001).

Num âmbito geral em estudo das ciências agrárias pode ser possível representar sistemas complexos por meio de redes estudando a dependência entre práticas culturais, as variáveis iniciais de crescimento da planta e os componentes de rendimento da planta (Cornet et al., 2016); na abordagem para identificação de pragas agrícolas em áreas específicas de cultivo para o efeito de minimizar custo (Acosta e Spreafico, 2016); na resolução de problemas para minimizar custo na implantação de sistema de irrigação melhorando o planejamento da distribuição de tubulações (Vicente e Rizzi, 2011); e em inventários florestais a teoria dos grafos e redes é aplicada à relação significativa entre o estágio sucessional e a dinâmica florestal considerando como uma importante fonte de heterogeneidade vegetal (Cruz et al., 2018).

A metodologia de compreensão das relações entre indivíduos de um grupo ou entre grupos por meio de sociograma é aplicado com a teoria dos grafos (Vaz, 2020). Assim como nos estudos da geografia quantitativa, ecologia da paisagem, nas ciências da terra e atmosféricas (Phillips et al., 2015).

O contexto básico é que a teoria dos grafos é uma ferramenta que auxilia na tomada de decisão fazendo a análise de um conjunto de dados dispersos e muitas vezes abstratos em uma informação útil (Fukumoto e Langhi, 2015).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da Área de Estudo

O estudo foi realizado no município de Guariba, Estado de São Paulo, na Usina São Martinho, em área de cultivo comercial de cana de açúcar, com mais de 30 anos de produção, em solo com palhada e cana – soca, apresentando coordenadas geográficas $-21^{\circ}16'42''$ de Latitude sul e de $48^{\circ}13'46''$ de longitude oeste, a elevação média da área de estudo é de 600 metros acima do nível do mar. O clima da região, conforme o sistema de Thornthwaite, foi classificado como B2rB'4a (Rolim et al., 2007).

A região compreende dois tipos de relevo encosta superior (EnS - área A) e meia encosta (Men - área B). Nas áreas A e B, o solo foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO EUTROFÉRRICO (Embrapa, 2018).

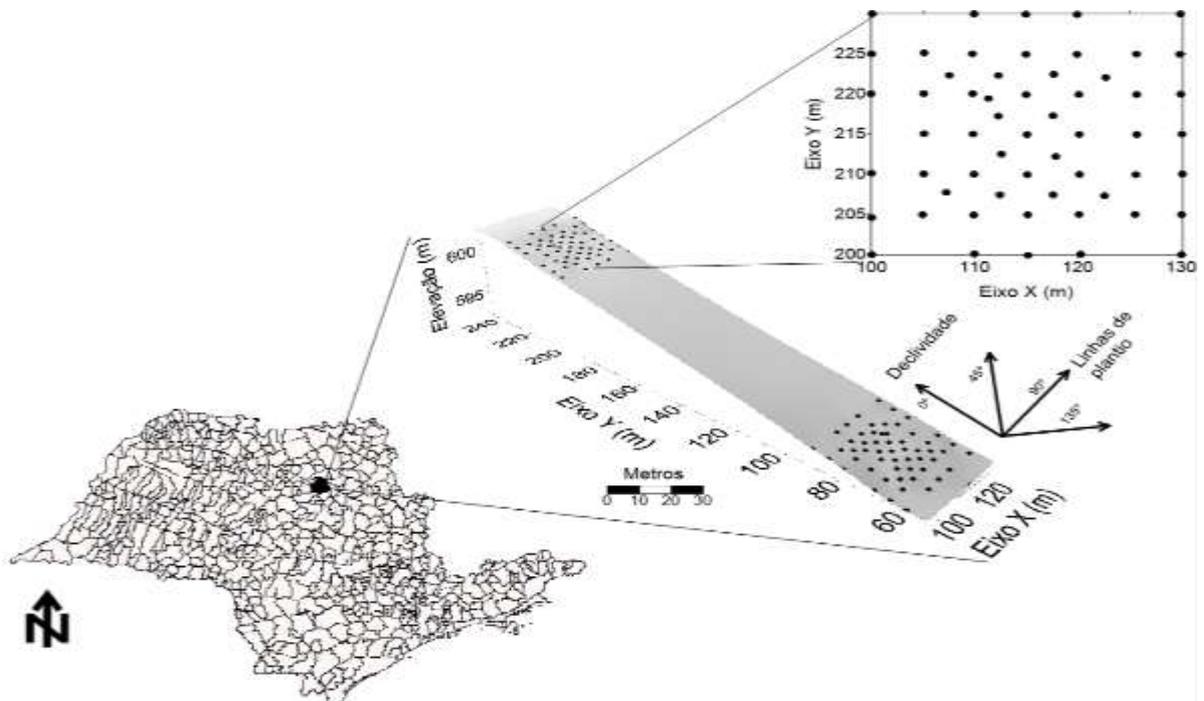


Figura 1. Área de estudo localizada na cidade de Guariba, SP, modelo de elevação digital e malha de amostragem para a determinação do banco de semente e levantamento fitossociológico.

3.2 Coleta de Dados e Levantamento Fitossociológico

São dados de pesquisa de campo no ano de 2008, mediante a pós-colheita da cana-de-açúcar. Foi realizado um grid para a coleta de informações onde foi demarcado 55 pontos amostrais, em cada área, com distanciamento entre os pontos de 5m x 5m em uma malha amostral regular de 30m x 30m (900 m²), dispostas em 02 áreas de localização: encosta superior (EnS) e meia encosta (Men). Seguindo a elevação do terreno (Figura 1).

O levantamento da distribuição das sementes, mediante amostragem, foi realizado logo após o corte da cana-de-açúcar, com solo apresentando resíduos de palhada da colheita.

Nas demarcações utilizaram-se um quadrado vazado de dimensões 1m x 1m (1m²) onde foi realizado a coleta de amostras do solo com profundidade de 10 cm, após esta coleta foi retirada 10 subamostras em cada ponto demarcado de todos os 55 pontos, totalizando 550 subamostras por cada área explorada. Em seguida, as amostras e subamostras foi acondicionada em sacos e identificadas, sendo posteriormente levadas ao laboratório de plantas daninhas da Unesp-Jaboticabal.

A contagem das sementes procedeu-se pelo método direto e pela extração física que foram adaptados dos trabalhos de Forcella e Lindstrom (1988). O solo das subamostras foi homogeneizado e seco ao ar e peneirado em peneira de mesh 10 retirando os materiais agregados e inativos. Realizou-se a lavagem das amostras do solo e posteriormente submeteram-na em bandejas para emergência das plântulas, em casa de vegetação, conforme o fluxo de plântulas. No total foram observados três fluxos de emergências para realização das contagens. O levantamento fitossociológico consistiu em obter os seguintes parâmetros conforme Mueller-Dombois e ElleMBERG (1974):

$$\text{Frequência (F)} = \frac{\text{nº de amostras de ocorrência da espécie}}{\text{soma total de amostras}}$$

$$\text{Frequência Relativa (FrR)} = \frac{\text{frequência da espécie}}{\text{frequência total das espécies}} \times 100$$

$$\text{Densidade (D)} = \frac{\text{número total de indivíduos da espécie}}{\text{soma total de amostras}}$$

$$\text{Densidade Relativa (DeR)} = \frac{\text{densidade da espécie}}{\text{densidade total da espécie}} * 100$$

$$\text{Índice de Importância Relativa} = \frac{(FrR + DeR)}{\text{Soma}(FrR + DeR)} * 100$$

Após o levantamento fitossociológico foram encontradas nove espécies de plantas daninhas identificadas nas áreas, das quais quatro espécies com maior importância relativa foram selecionadas para estudo, são elas: caruru (*Amaranthus* sp), corda-de-viola (*Ipomoea grandifolia*), esqueleto ou corda-de-viola (*Ipomoea quamoclit*) e beldroega (*Portulaca oleracea*), conforme as avaliações dos parâmetros determinados.

3.3 Análises Geoestatísticas

A geoestatística foi usada para avaliar a variabilidade espacial das plantas daninhas nas áreas de estudo conforme levantamento dos parâmetros fitossociológicos. Para se fazer a análise, foi necessário saber a ocorrência ou não de dependência espacial, verificado por meio do gráfico do semivariograma calculados para as direções de 0°, 90°, 45° e 135°, partindo da hipótese da estacionariedade intrínseca, Webster e Oliver (1990), onde, a esperança matemática $E[Z(\mathbf{x})]$ é existente e não está sob dependência do valor de \mathbf{x} e que as correlações entre as variáveis aleatórias espaciais independe da sua localização e depende tão somente da distância espacial (\mathbf{h}) (Journel & Huijbregts, 1978). Neste caso adotou-se o modelo clássico ou de Matheron definido pela seguinte expressão, sendo:

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^N [z(\mathbf{x}_i) + z(\mathbf{x}_i + \mathbf{h})]^2 \quad \text{Eq. 1}$$

Em que: $N(h)$ é o número de pares de valores medidos separados $Z(\mathbf{x}_i)$ e $Z(\mathbf{x}_i + \mathbf{h})$ por um vetor \mathbf{h} (Journel & Huijbregts, 1978), corroborado por Landim (1998) que enfatiza que dois valores de uma variável regionalizada obtidos no pontos $\mathbf{x}(i)$ e $\mathbf{x}(i+\mathbf{h})$ e que

para qualquer deslocamento (h) os dois primeiros momentos da diferença entre os valores $[\mathbf{x}(i)-\mathbf{x}(i+h)]$ são independentes da localização de \mathbf{x} e em função apenas de h .

No ajuste da análise dos modelos aos semivariogramas experimentais, o modelo adotado foi o esférico e segue a função matemática:

$$\hat{\gamma}(h) = c_0 + c \left\{ \frac{3h}{2a} - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right\}, \text{ para } 0 < h < a \quad \text{Eq.2}$$

$$\hat{\gamma}(h) = C_0 + C, \text{ para } h > a$$

Conforme Mcbratney & Webster, 1986. Em que C_0 , C e a são os parâmetros estimados, logo: C_0 é conhecida como efeito pepita ou nugget que é o valor de $\hat{\gamma}(h)$ quando $h=0$. Também são atribuídos a erros de medição ou que os dados não foram coletados a intervalos suficientemente pequenos para mostrar o comportamento espacial subjacente do fenômeno em estudo (Landim, 1998); C é o componente correlacionado da variação que representa a continuidade (Oliver & Webster, 2014); e a é o intervalo ou distância mínima de atraso na qual a autocorrelação espacial ou dependência entre as medidas de elevação não é mais observado e $C_0 + C$ é o patamar ou “sill” é o valor de $\hat{\gamma}(h)$ quando há estabilidade na variância (Bourgelt et al., 1994; Yamamoto e Landim, 2013; Zhang et al. 2018).

Além do modelo experimental adotou-se outro componente de avaliação para complementar o nível de confiança dos dados na análise variográfica que é o grau de aleatoriedade (E) sugerido por Guerra (1988), calculado pela seguinte fórmula:

$$E = C_0 / C \quad \text{Eq.3}$$

onde classificação dos dados estão sujeitas por três graus de aleatoriedade, são elas: pequena onde o grau de aleatoriedade, $E < 0,15$; significativa onde o grau de aleatoriedade está no intervalo de $0,15 \leq E \leq 0,30$ e; muito significativa onde o grau de aleatoriedade, $E > 0,30$.

Para elaboração de mapas de padrões espaciais utilizou-se a técnica de integração da krigagem ordinária, que é o método geoestatístico de interpolação mais utilizado com uso de média ponderadas das amostras vizinhas. Os pesos (λ_i) para cada amostra vizinha são determinados com base no modelo de variograma ajustado, de modo que a variância das estimativas seja minimizada levando a um sistema de equações lineares e resulta na fórmula:

$$\hat{Z}(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(x_i), \text{ com } \sum_{i=1}^N \lambda_i = 1 \quad \text{Eq.4}$$

Em que: $Z(x_0)$ é a estimativa de valor da propriedade no ponto 0; o número 1 é usado para previsão, λ_i é a ponderação associada a qual valor, $Z(\mathbf{x})$ é o valor observado no ponto i .

Na análise variográfica, foi avaliado a relação de dependência espacial pelo grau de dependência espacial expresso e proposto por Cambardella et al. (1994). Em que resulta na representação da seguinte fórmula:

$$\text{GD\%} = \frac{C_0}{C_0 + C} \times 100 \quad \text{Eq. 5}$$

considerando C_0 , como o efeito nugget ou erro de amostragem; C é a variância espacial. O grau de dependência espacial é determinado com os seguintes valores percentuais: $\text{GD} < 25\%$ - forte dependência espacial; $25\% < \text{GD} < 75\%$ - moderada dependência espacial e $\text{GD} > 75\%$ - fraca dependência espacial. As análises geoestatísticas foram processadas com auxílio do Software GS+ (Geostatistics for the Environmental Sciences).

3.4 Análise de Grafos e Redes

Na elaboração da rede utilizou-se os 55 pontos de cada área estudada, os pontos foram unidos por seus vértices mostrando seu grau de homogeneidade. O caráter avaliativo deu-se pelas observações da densidade entre os níveis de relações entre esses pontos.

A densidade é a relação entre os arcos observados e arcos possíveis ou um número de arestas de um grafo e o número máximo de arestas que ela poderia ter (Simões-Pereira, 2013). Neste caso para ter a medição da densidade do grafo em plantas utilizou-se a fórmula descrita por Higgins e Ribeiro, 2018; Freeman, 1979:

$$\Delta: 2l/g(g - 1) \quad \text{Eq.6}$$

Em que: l representa o número de relações observadas; g representa o número de nós. Essa fórmula dá-se em caso de grafos não orientados, ou seja, não há autocorrelação com o próprio ponto estudado, logo a avaliação recorre-se para o nível de conexão entre os pontos. Neste caso é análogo ao comportamento da distribuição

de sementes das plantas daninhas que caracteriza por dispersão aleatória por influência do meio vislumbrando uma malha de redes de conexões.

Para a observação de continuidade espacial da distribuição do banco de sementes adotou-se como parâmetro, a densidade dos grafos, o grau de intermediação do nó ou pontos e a relação de proximidade. O grau de intermediação analisa a o número de conexões dos pontos com outros grupos e o grau de proximidade determina a proximidade desses pontos na rede ou a distância desse ponto aos demais (Recuero, 2014).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram encontradas nove espécies de plantas daninhas na área total observada constituída em um relevo com encosta superior (EnS) e meia encosta (Men), são elas: *Amaranthus sp* (caruru), *Digitaria sp* (capim colchão), *Euphorbia heterophylla* (leiteira), *Euphorbia hyssopifolia* (erva-andorinha), *Nicandra physaloides* (joá-de-capote), *Portulaca oleraceae* (beldroega), *Ipomoea grandifolia* (corda-de-viola), *Ipomoea quamoclit* (esqueleto ou corda-de-viola) e *Merremia cissoides* (campainha ou corriola) no entanto foram selecionadas quatro espécies de plantas daninhas com maior importância relativa nas duas áreas de estudos do relevo. São elas: o caruru, a corda-de-viola, o esqueleto ou corda-de-viola e a beldroega.

A encosta superior e a meia encosta obtiveram respectivamente alcance com valores de 28,29 m e 13,53 m, como apresentado na Tabela 1, indicando que existe dependência espacial na comunidade de sementes ou no banco de sementes, ou seja, autocorrelação espacial onde o valor da variável analisada depende do valor dessas mesmas variáveis observada em pontos dentro dessa distância. Até o limite desses valores há a caracterização de dependência espacial e maior distribuição contínua de sementes de plantas daninhas, no entanto acima deste limite não caracterizam dependência espacial e são independentes entre si.

O alcance representa a distância máxima que um fenômeno ou objeto de estudo está correlacionado entre si (Journel e Huibreghts, 1991). É a distância onde a semivariância entre a diferença entre duas contagens de plantas daninhas é constante quando a distância aumenta ainda mais (Heisel, Andreasen e Ersboll (1996). Segundo Pott (2019) avaliando a distribuição das plantas daninhas em malhas amostrais destacou que malhas com menor distância entre pontos de observação

tendem a maior dependência espacial de plantas daninhas e com maior distância não apresentam essa característica.

O modelo esférico foi o modelo ajustado para análise dos dados com melhor representação dos resultados nas duas áreas, encosta superior e meia encosta. Sendo o coeficiente de determinação (r^2) a medida de grau de ajuste, que varia no intervalo de 0 a 1, e quanto mais próximo de 1 melhor o ajuste (Downing e Clark, 2011).

Observando as duas áreas em estudo verificou-se a diferença evidente na área da encosta superior em relação a área da meia encosta, como apresentado nos alcances respectivos dos variogramas das figuras 2A e 3A, quando se observa os variogramas isotrópicos. Isso, possivelmente deve-se à inclinação do terreno, influência do manejo levando em consideração as características anatômicas e fisiológicas das sementes das plantas daninhas, às linhas de plantio que se contrapõe ao declive, ao sentido do escoamento superficial do terreno e às condições do solo como resíduos de palhada pós-colheita.

O grau de dependência espacial (**GDE**) é a medida que pode revelar a continuidade espacial da distribuição e infestação das sementes de plantas daninhas. Essa medida mostra a estrutura do variograma, ou seja, a porcentagem do valor do erro (aleatório de estrutura) em relação ao valor de patamar, ou seja, ao valor da semivariância onde ocorre o alcance, no caso dele existir.

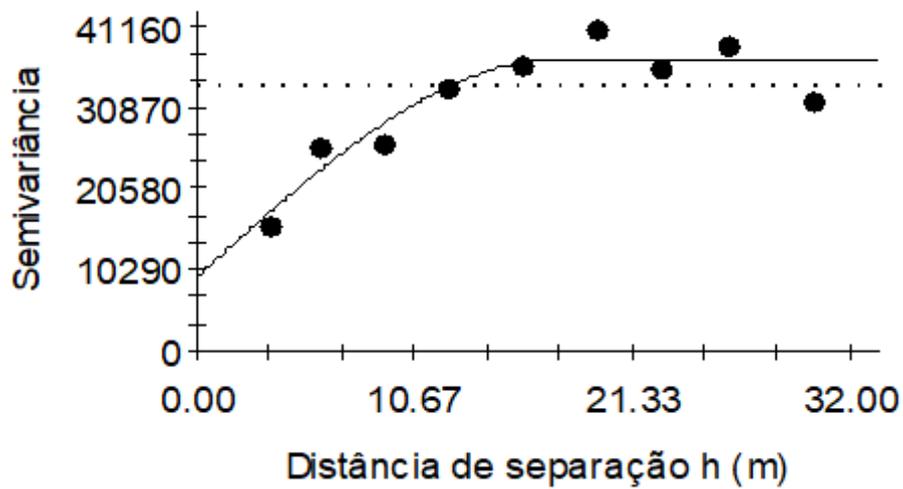
As Figuras 2A e 3A apresentam variograma ajustado e as Figuras 2B e 3B apresentam respectivamente anisotropia para as direções (90°, 135°) e (0°, 45°). Essa anisotropia é caracterizada como anisotropia geométrica, pois é causada quando o semivariograma apresenta diferentes padrões de dependência espacial em diferentes direções (Barbosa et al., 2019). Isso pode ser explicado pela tendência na dispersão das sementes de caráter aleatório devido aos agentes e fatores externos que influenciam na forma de distribuição dessas sementes na paisagem.

Abaixo, as figuras 2A e 3A representado pelos variogramas isotrópicos, revelam comportamento das distribuições das sementes de plantas daninhas da comunidade nas áreas da encosta superior e da meia encosta respectivamente. Consiste em mostrar, que há continuidade espacial na distribuição das sementes de plantas daninhas em cada área estudada até o limite de cada alcance. Logo o alcance informa o grau de homogeneização das amostras observadas em campo, então observa-se que o grau de homogeneização na encosta superior é maior que o

observado na meia encosta, o que pode ser interpretado que quanto maior o valor do alcance maior a tendência de homogeneidade nas amostras observadas.

2.a)

Variograma Isotrópico



2.b)

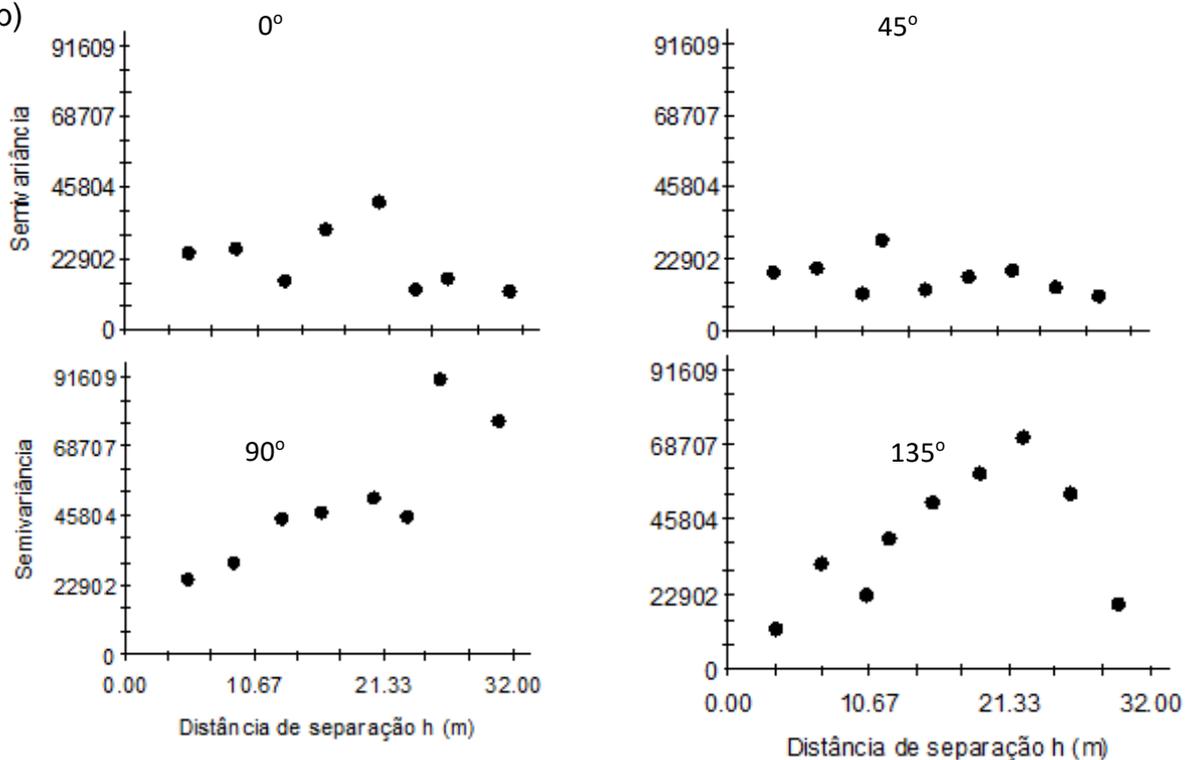
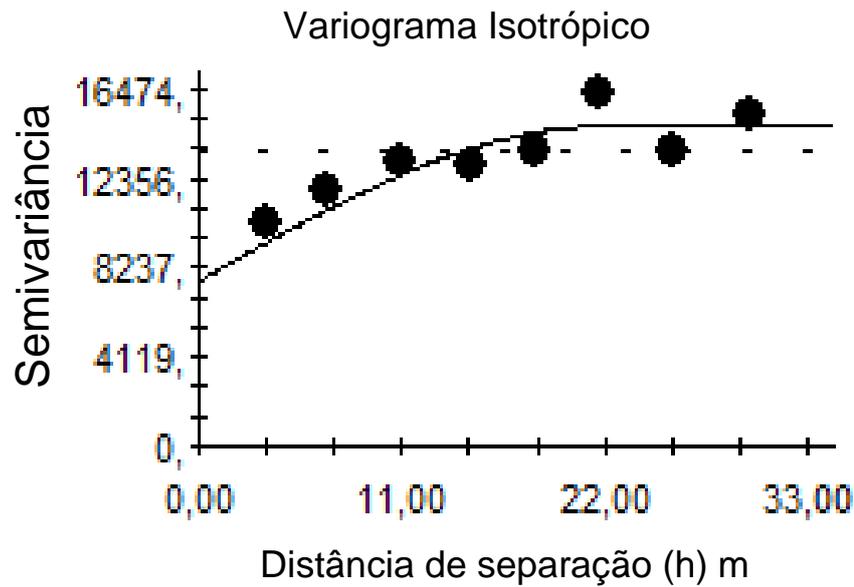


Figura 2. a) Semivariograma experimental isotrópico e modelo ajustado para a variável DISTRIBUIÇÃO DE SEMENTES na área de estudo da encosta superior. 2.b) Semivariogramas experimentais calculados para as diferentes direções na área de estudo.

3.a)



3.b)

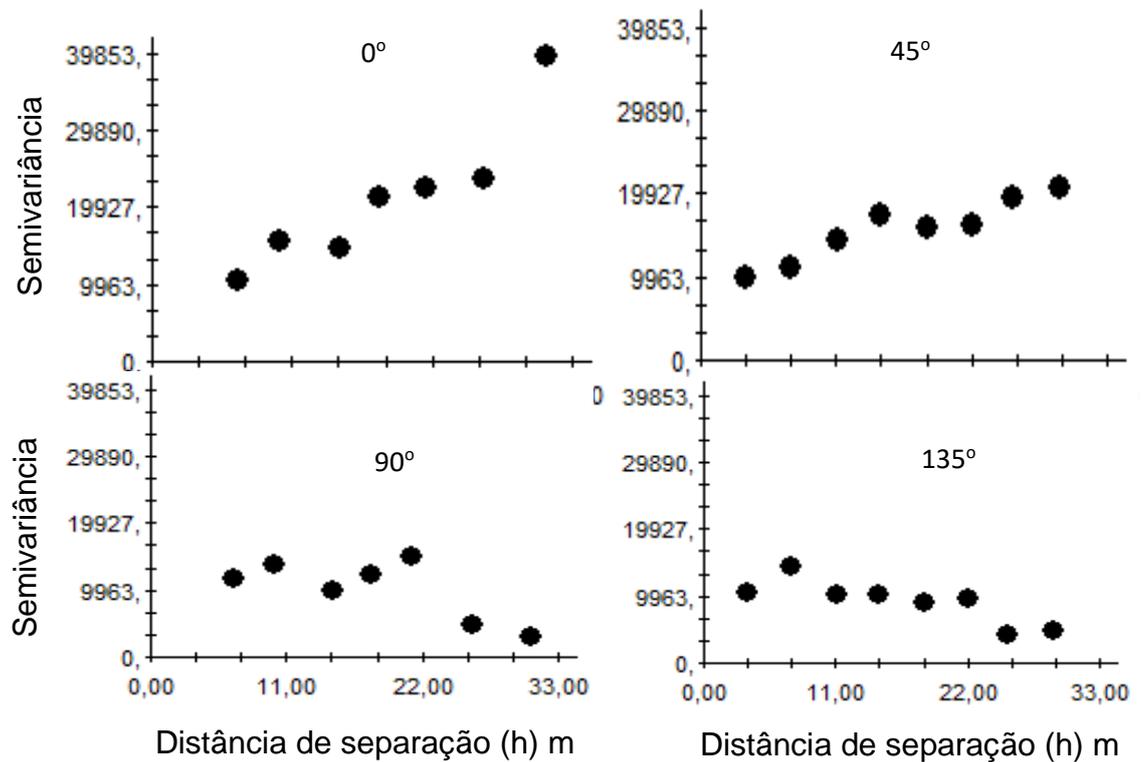


Figura 3.a) Semivariograma experimental isotrópico e modelo ajustado para a variável DISTRIBUIÇÃO DE SEMENTES na área de estudo meia encosta. 3.b) Semivariogramas experimentais calculados para as diferentes direções na área de estudo.

O patamar ($C_0 + C$) está bem definido e próximo da linha de variância, assim como o número de pares (superior a 50) envolvidos no cálculo da semivariância dos primeiros lags, isto indica um bom ajuste dos modelos que estão apresentados nas figuras 2A e 3A (Wollenhaupt et al. 1997; Burrough e McDonnell 2000). O patamar corresponde

respectivamente aos alcances e valores verificados nas figuras nas Figuras 2A e 3A na Tabela 1.

Segundo Landim (1998) um bom ajuste de semivariograma significativo é necessário adotar um mínimo de 30 pares de pontos. Isto, conforme o número de intervalos (lags), tamanho e tolerância desses intervalos. Corroborado por Cambardella et al. (1994) que utilizou entre 40 e 100 pares de pontos para definir o melhor cálculo do semivariograma observando atributos do solo. Ademais, observado por Martelli e Pirolli (2015) onde a variabilidade espacial presente no método geoestatístico, em que a krigagem com 36 pontos feitas a partir do semivariograma ajustado fornece resultado satisfatório, uma vez que a interpolação sempre passa pelos pontos amostrados. Então, pode-se afirmar que os modelos teóricos adotados nas figuras 2A e 3A estão dentro do parâmetro ideal de ajuste.

Abaixo a Tabela 1, que auxilia na demonstração dos modelos teóricos.

Espécies	Modelo	C₀	C₀+C₁	a(m)	SQR	r²	GDE	E
Área A (Encosta Superior=EnS)								
AMAsp	Esf.	1799,08	3599,19	28,29	306660	0,868	0,50	0,99
POROL	Esf.	348,03	1777,65	15,39	103968	0,922	0,195	0,243
IPOGR	Esf.	120,00	12720,00	8,88	454740	0,802	0,094	0,009
IPOQU	Esf.	278,39	1117,00	11,03	10142	0,875	0,249	0,331
Área B (Meia Encosta=MEn)								
AMAsp	Esf.	382,00	3268,30	13,53	1,03E+07	0,804	0,116	0,132
POROL	Esf.	60,00	2446,00	6,08	3547	0,925	0,024	0,025
IPOGR	Esf.	1,00	392,30	7,57	2783	0,864	0,025	0,0025
IPOQU	Esf.	598,00	3709,00	6,78	258965	0,708	0,161	0,127

Esf. = modelo esférico; C₀ = Efeito Pepita; C₀+C₁ = Patamar; a = Alcance; SQR = Soma de quadrados dos resíduos, r² = coeficiente de determinação do ajuste de modelo; GDE = Grau de dependência espacial (%); EnS=Encosta Superior; Men, E=Grau de Aleatoriedade.

Ao observar as espécies de plantas daninhas estudada nas áreas A e B (encosta superior e meia encosta) verificou-se as diferenças dos valores dos alcances de cada espécie estudada observando os seus respectivos semivariogramas ajustados. Cada semivariograma representa o nível de continuidade espacial e potencial de infestação de sementes de plantas daninhas.

Observou-se que o nível de infestação por espécies de plantas daninhas reflete grau de dependência espacial de fraco a moderado, conforme proposto por Cambardella et al. (1994). Abaixo estão as Figuras e os Mapas de padrão espaciais das duas áreas exploradas.

Figura 4 - *Amaranthus sp* Área A (Encosta Superior)

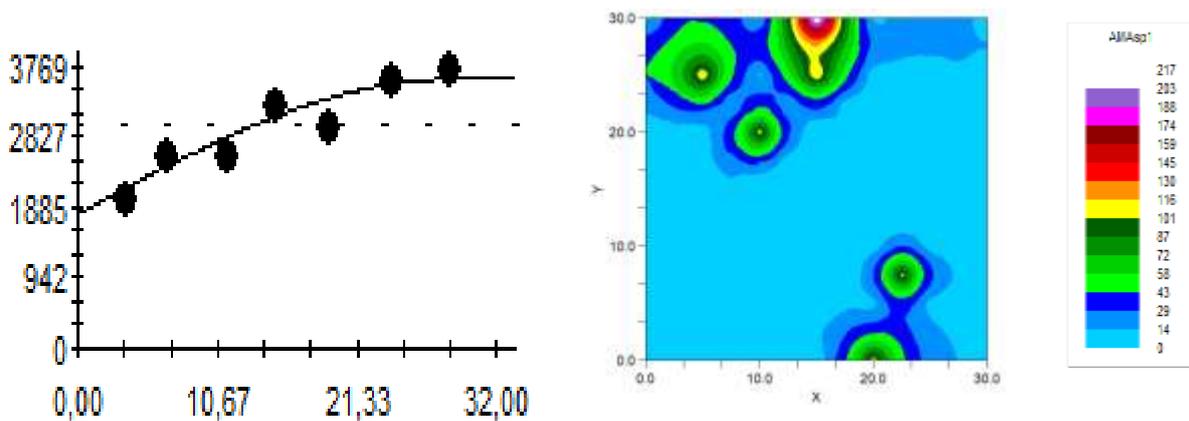


Figura 4.a – semivariograma e Mapa do padrão espacial da DISTRIBUIÇÃO DE SEMENTES (plantas/m²) da espécie *Amaranthus sp.* conforme parâmetros fitossociológicos dos índices de similaridade e frequência.

Área B (Meia Encosta)

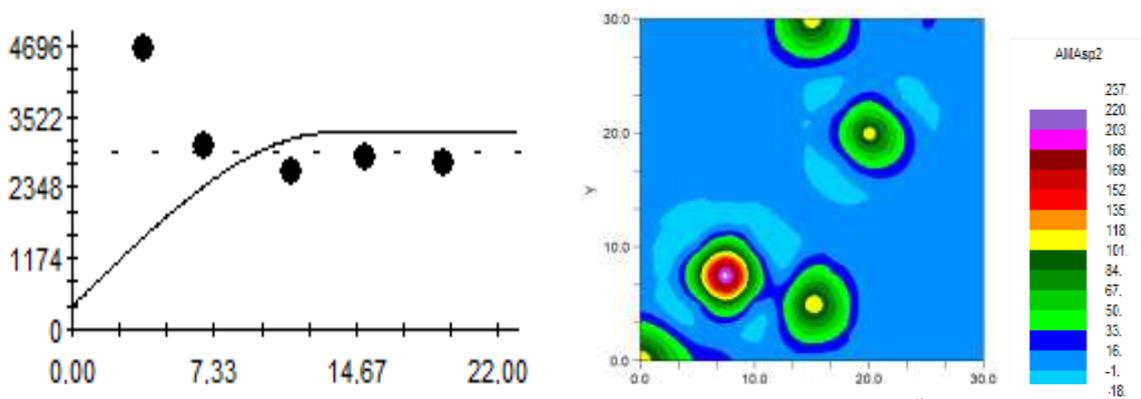


Figura 4.b – semivariograma e Mapa do padrão espacial da DISTRIBUIÇÃO DE SEMENTES (plantas/m²) da espécie *Amaranthus sp.* conforme parâmetros fitossociológicos dos índices de similaridade e frequência.

A planta daninha *Amaranthus sp.*, obteve sensivelmente uma pequena variância espacial na encosta superior, diferentemente do que se observou na meia encosta onde refletiu o efeito pepita puro, ou seja, não houve e nem caracterizou variância espacial. Esta diferença pode ser devido a presença de palhada da pós-colheita da

cana-de-açúcar, pelo aprofundamento das sementes desta espécie que são leves e pequenas.

A espécies do gênero *Amaranthus* caracteriza-se por produzir muitas sementes que podem chegar de 100.000 a 150.000 sementes por planta, além de serem sementes pequena e leves (Zimdahl, 1999; Carvalho, 2013; Martins et al., 2020).

Os resíduos da palhada da cana-de-açúcar criam obstáculo para que as sementes o *Amaranthus sp* não tenha muito sucesso na germinação o que pode explicar a ocorrência do contraste de variância espacial na encosta superior em relação a meia encosta, levando em consideração que essas sementes apresentam dormência, o que proporciona descontinuidade na germinação.

Figura 5 - *Portulaca oleraceae*

Área A (Encosta Superior)

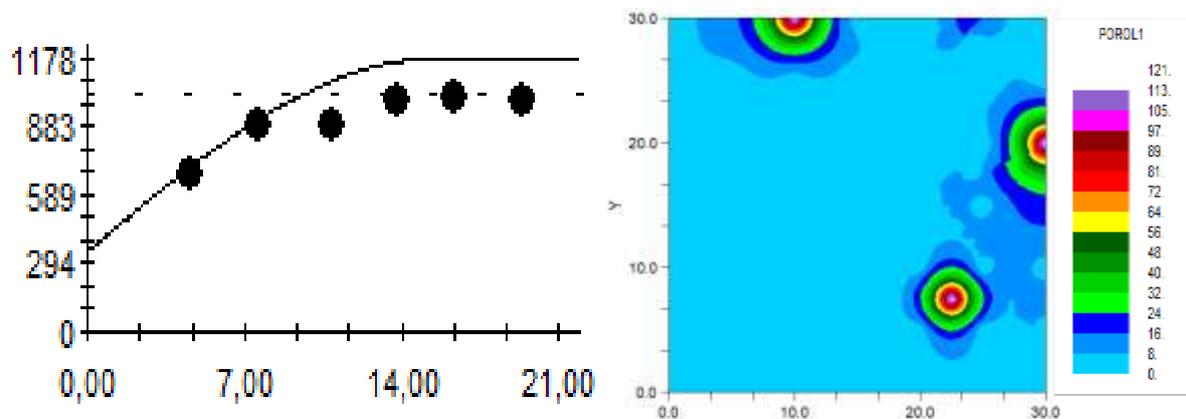


Figura 5.a – semivariograma e Mapa do padrão espacial da DISTRIBUIÇÃO DE SEMENTES (plantas/m²) da espécie *Portulaca oleraceae*. conforme parâmetros fitossociológicos dos índices de similaridade e frequência.

Área B (Meia Encosta)

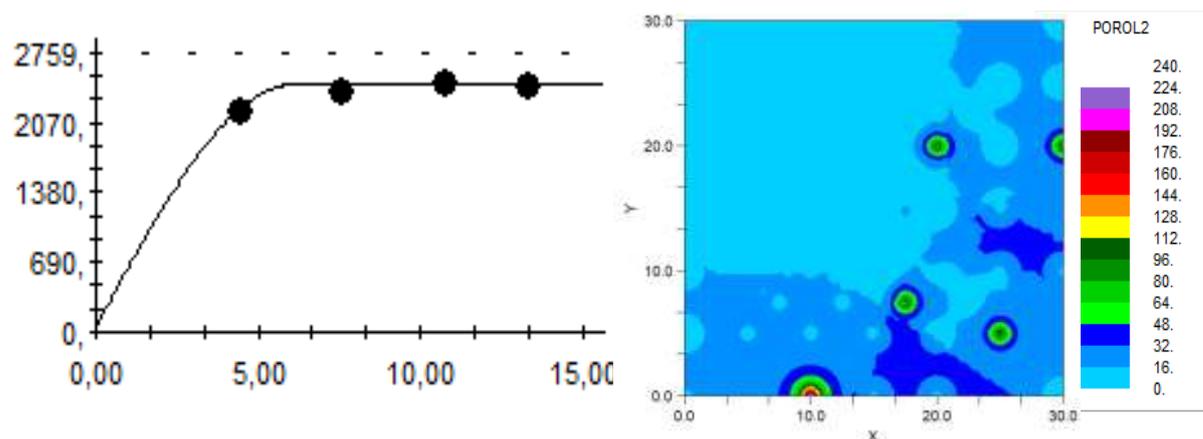


Figura 5.b – semivariograma e Mapa do padrão espacial da DISTRIBUIÇÃO DE SEMENTES (plantas/m²) da espécie *Portulaca oleraceae*. conforme parâmetros fitossociológicos dos índices de similaridade e frequência.

Observou-se que não houve dependência espacial nas duas áreas o que pode ser visto no mapa de padrão espacial e no semivariograma onde constata-se que não há variância espacial.

As sementes da *Portulaca oleracea* caracteriza-se por sementes leves e distribuídas a longas distâncias, por permanecer quiescente até 19 anos e produzir sementes de 50.000 a 100.000 (Zimdahl, 1999; Lorenzi, 2008; Brighenti e Oliveira, 2011). No entanto, nas duas áreas não ocorreu distribuição uniforme da espécie, o que pode ser devido a presença do resíduo de cana-de-açúcar, a rugosidade do solo e a declividade do terreno que influenciou na desuniformidade da germinação.

Figura 6 - Ipomoea grandifolia

Área A (Encosta Superior)

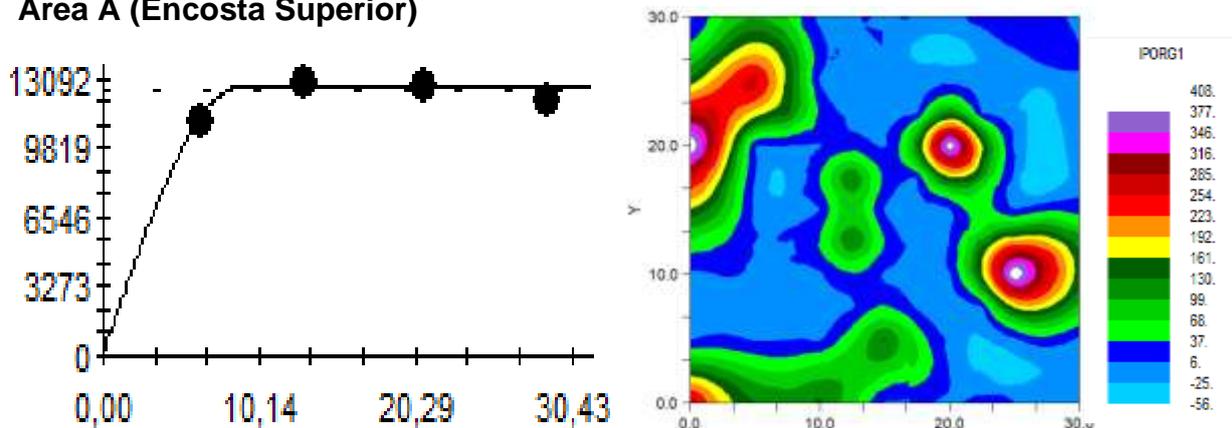


Figura 6.a – semivariograma e Mapa do padrão espacial da DISTRIBUIÇÃO DE SEMENTES (plantas/m²) da espécie *Ipomoea grandifolia*. conforme parâmetros fitossociológicos dos índices de similaridade e frequência.

Área B (Meia Encosta)

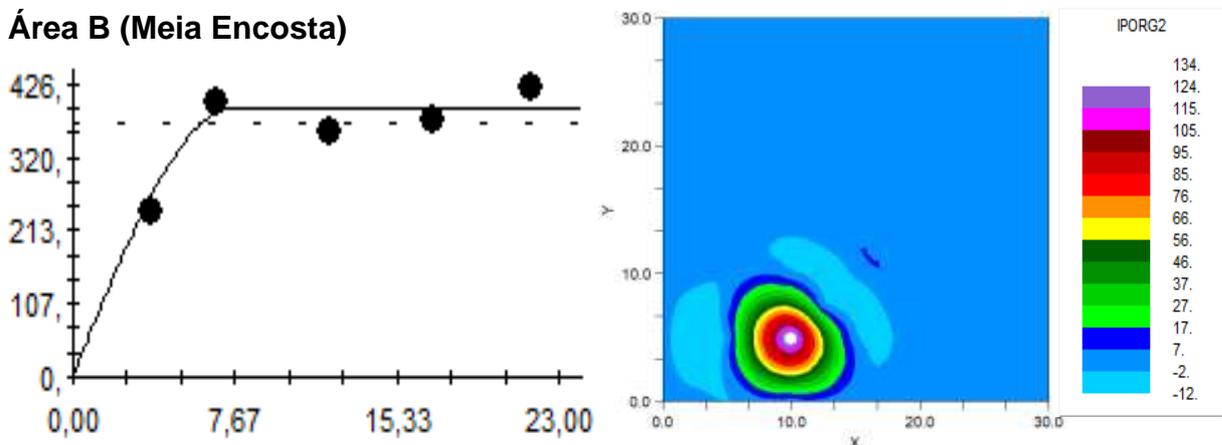


Figura 6.b – semivariograma e Mapa do padrão espacial da DISTRIBUIÇÃO DE SEMENTES (plantas/m²) da espécie *Ipomoea grandifolia*. conforme parâmetros fitossociológicos dos índices de similaridade e frequência.

A espécie *Ipomoea grandifolia* não apresentou dependência espacial na encosta superior e na meia encosta, o que pode ser demonstrado no semivariograma como no mapa de padrão espacial. No semivariograma o alcance é proporcional a correlação espacial, porém a *Ipomoea grandifolia* não apresenta variância espacial nas duas áreas estudadas. Outro detalhe é a presença de palhada sobre o solo do resíduo da pós-colheita também contribui na redução da germinação de sementes.

**Figura 7 - *Ipomoea quamoclit*
Área A (Encosta Superior)**

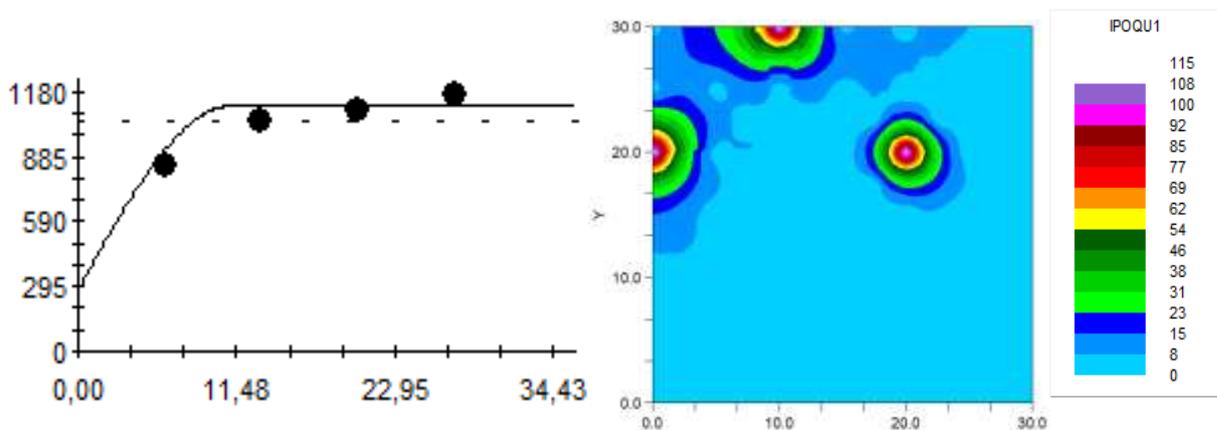


Figura 7.a – semivariograma e Mapa do padrão espacial da DISTRIBUIÇÃO DE SEMENTES (plantas/m²) da espécie *Ipomoea grandifolia*. conforme parâmetros fitossociológicos dos índices de similaridade e frequência.

Área B (Meia Encosta)

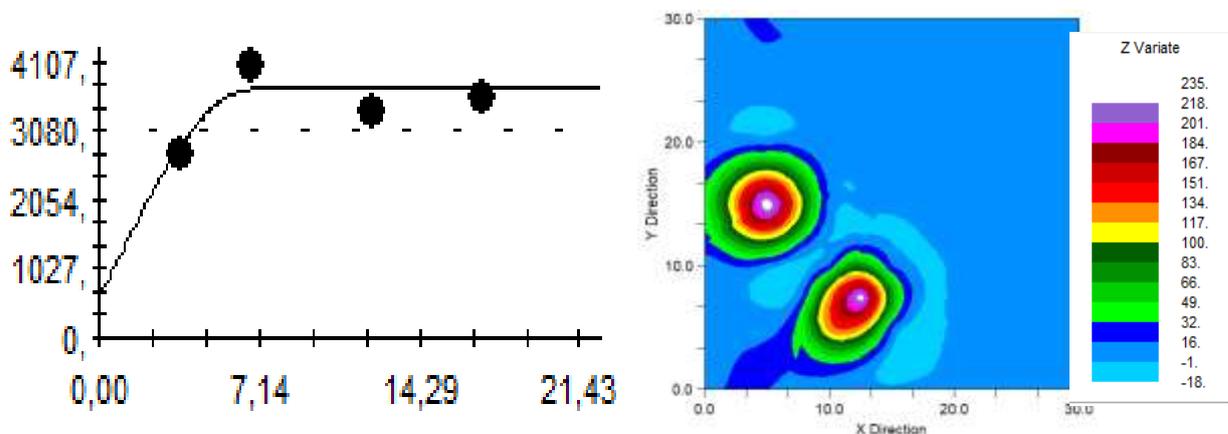


Figura 7.b – semivariograma e Mapa do padrão espacial da DISTRIBUIÇÃO DE SEMENTES (plantas/m²) da espécie *Ipomoea grandifolia*. conforme parâmetros fitossociológicos dos índices de similaridade e frequência.

Não há dependência espacial na espécie *Ipomoea quamoclit*, como observado na encosta superior e na meia encosta. Este aspecto está representado nos semivariogramas e nos mapas de padrões espaciais. No sistema de plantio direto na palha há redução da emergência das sementes (Correia e Durigan, 2004).

As plantas daninhas em comunidades presentes na encosta superior (Área A) apresentam maior alcance na sua dispersão e/ou distribuição de suas sementes em relação às plantas daninhas que permeiam na meia encosta (Área B), conforme a representação dos modelos de variograma isotrópicos das Figuras 2A e 3A. A diferença pode estar atrelado ao mecanismo de dispersão dessas sementes, pois as plantas daninhas estão dispostas em um ambiente com declive, que ao dispersar suas sementes depende dos agentes externos para sua distribuição ao longo da área. Outro ponto a observar refere-se à disposição das linhas de plantios que influenciam na interceptação horizontal referente ao fluxo do escoamento superficial do terreno o que faculta em provocar a retenção de sementes por essas barreiras físicas das linhas de plantio adicionada com a rugosidade do solo e com os resíduos da palhada oriundas da colheita. A declividade, portanto, pode estar influenciando na distribuição aleatória das plantas daninhas concomitante à precipitação pluviométrica e ao turno de irrigação.

Segundo Malavasi e Malavasi (2001) a distribuição das sementes está ligada ao seu peso e ao número considerando o solo a qual a semente está submetida, logo, sementes de pequeno tamanho e grande volume tem facilidade de ser enterrada nas discontinuidades da superfície do solo. Como trata-se de área de plantio de cana-de-açúcar, o revolvimento do solo com maquinário poderá modificar a distribuição das sementes de plantas daninhas. As colhedeiças de cana-de-açúcar funcionam como excelentes agentes de disseminação de plantas daninhas, especialmente quando a época de colheita da cana coincide com o fim do ciclo de seu desenvolvimento e maturação de suas sementes (Kuva et al., 2008).

O padrão espacial das sementes dentro e sobre o solo é o resultado do processo de dispersão, em plantas daninhas as sementes são geralmente agregadas ao redor da planta-mãe (Dessaint, 1991).

A observação sobre os graus de aleatoriedade invoca que as diferenças representadas na encosta superior (EnS) e na meia encosta (MEn) estão condicionadas proporcionalmente com o alcance e à medida que a diferença no alcance entre as mesmas espécies de plantas daninhas aumenta progressivamente

maior o grau de aleatoriedade. Logo, percebe-se que a observação individualmente das espécies de plantas daninhas apresenta efeito pepita puro com grau de aleatoriedade não significativo entre as espécies nas duas áreas de observadas, ou seja, não houve distribuição uniforme das sementes.

A diferença de alcance na distribuição de sementes *Amaranthus sp* e da *Portulaca oleraceae*, da área A para área B, foi a mais representativa nas espécies estudadas. Sendo, as espécies *Ipomoea grandifolia* e *Ipomoea quamoclit* às que não obtiveram diferença significativa no alcance seguindo um padrão aleatório de distribuição de suas sementes tanto na encosta superior quanto na meia encosta.

A distribuição e/ou dispersão das plantas daninhas não seguiram o padrão relacionado a ação antrópica mediante ao uso da mecanização nos períodos de colheita e/ou reforma do canavial. As plantas daninhas foram dispersadas e infestadas com influência relacionada com o fluxo de escoamento superficial do terreno, contrapondo-se ao trabalho realizado pela mecanização, que flui ou movimenta-se no eixo X (Figura 1). O fluxo de dispersão apresentados nas duas áreas em estudo, encosta superior (EnS) e meia encosta (MEEn) seguiram o eixo Y, justificado pelo eixo que segue o fluxo de escoamento de água no relevo.

Segundo Kathiresan e Gualbert (2016), o padrão de chuva e evaporação de uma região influencia diretamente as sementes, nas suas funções fisiológicas, no processo de dormência e germinação e pode causar impactos indiretos através do deslocamento destas sementes ou propágulos por escoamento.

A distribuição das sementes ou perdas de sementes são influenciados pelo ângulo de declive, rugosidade da superfície, intensidade da chuva, lavagem superficial e as características da própria semente (Jiao et al., 2009; De Row et al., 2018). No entanto, segundo Han et al. (2011) a remoção e a dispersão das sementes não apresentaram um padrão sucinto mediante ao declive, mas apresentou positivamente a remoção dessas sementes com a intensidade das chuvas. Juntamente com essa característica, a mobilização do solo promove a infestação de plantas daninhas (Nagahama et al., 2014).

As áreas da encosta superior (EnS) apresentam mais sementes de plantas daninhas no topo do relevo e com maior distribuição em relação à área da meia encosta (Men), isso, devido as características anatômicas das sementes que são facilmente aprisionadas nas rugosidades do solo e nos resíduos da palhada após a colheita.

Abaixo é apresentado o modelo digital de elevação e o mapa de escoamento superficial nas duas áreas em estudo (Figura 8).

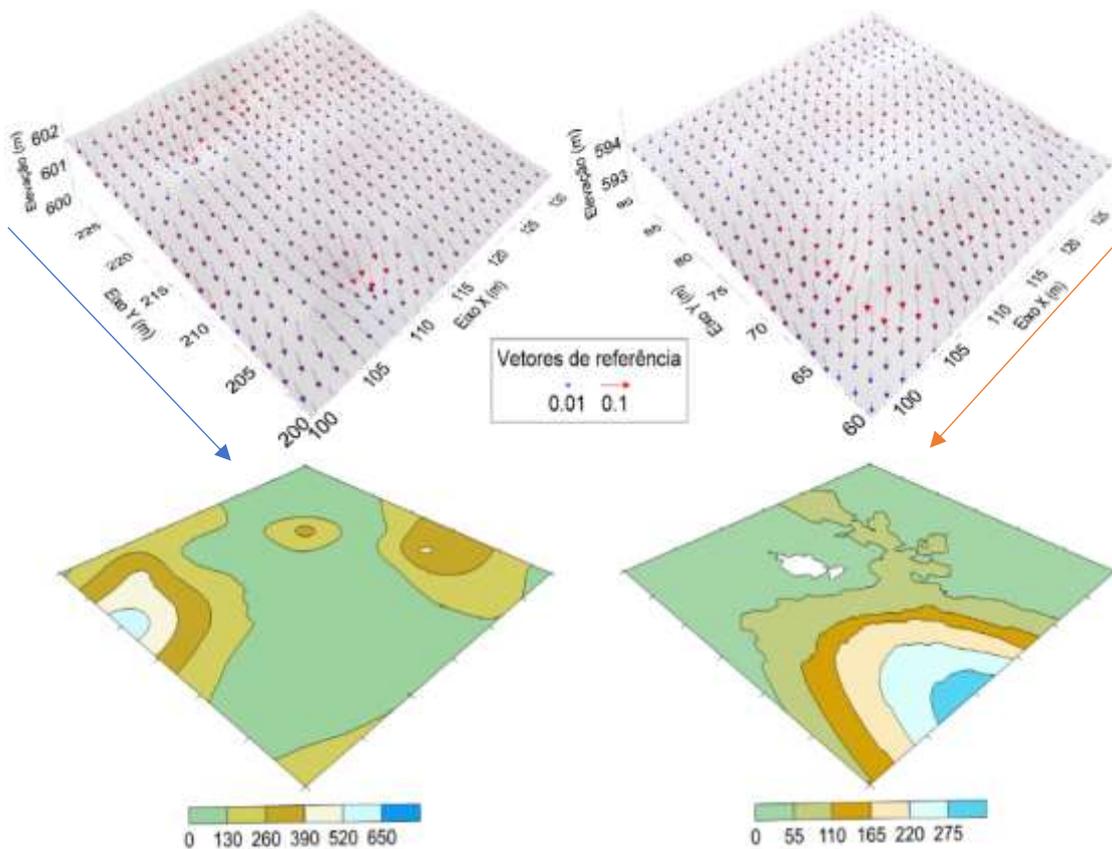


Figura 8. Modelos digital de elevação (MDE) e representação do escoamento superficial (sentido da seta) e intensidade do fluxo de água (tamanho e cor da seta), baseados na altimetria dos pontos amostrados e mapas dos padrões espaciais da DISTRIBUIÇÃO DE SEMENTES (plantas/m²), para as áreas estudadas. Vetor eixo Y, sentido do escoamento superficial. Vetor eixo X, sentido da mecanização colheita e reforma do canal. Valores de referência (m/s).

Os vetores de referência indicam o comportamento do escoamento superficial de água no relevo conforme as duas áreas observadas. A área da encosta superior (EnS) tem um fluxo maior em relação a meia encosta (MEn) que apresenta valor de referência menor no fluxo de escoamento superficial (Figura 8). Essa característica descreve o comportamento do plantio de cana-de-açúcar que se posta em direção ao eixo (X) ou horizontal do terreno que informa a redução gradativa do fluxo de escoamento devido as barreiras do cultivo da cana-de-açúcar, que por sua vez, contribui para a irregularidade na distribuição das sementes ao longo da área. Essas barreiras de plantio da cana-de-açúcar provoca o aprisionamento das sementes nas rugosidades do solo ou nos detritos formados pela palhada após a colheita.

Os mapas configuram o padrão espacial indicando a tendência de infestação da distribuição de sementes conforme o fluxo de escoamento. As plantas daninhas seguem a conformidade do declive da área. Esse comportamento está atrelado ao ângulo de inclinação do terreno, e pelas características das sementes, inferindo em seu caráter de dispersão e distribuição.

Segundo Cerdá e Garcia-Fayos (2002), as remoções das sementes são determinadas pelo tamanho, quando apresentam massa mais leve que 50 mg, enquanto o formato só influencia quando supera essa massa de 50 mg. Tipos de plantas daninhas normalmente produzem grandes quantidades de sementes que são transportados para longe da planta-mãe por agentes externos, como vento, água ou animais. (De Row, 2018).

A *Ipomoea quamoclit* produz grande quantidade de sementes e, por serem relativamente grandes, possuem reserva suficiente para nutrir as plântulas durante a passagem através da camada de palha. Além disso, em várias ocasiões, os frutos com as sementes se mantêm ligados às plantas até a época da colheita, e a passagem da colhedora auxilia na sua disseminação a distâncias maiores (Kuva et al., 2008). Esse aspecto revela que a mecanização no manejo do solo ou no processo de colheita cumpre um papel de distribuição das sementes de plantas daninhas inferindo nas duas áreas observadas.

Segundo Fontes et al., (2003) o *Amaranthus sp* e a *Portulaca oleraceae* produz aproximadamente 120.000 e 53.000 sementes por planta respectivamente. No entanto o *Amaranthus sp* por ter como característica a dormência em sua fisiologia possibilita a germinação por vários anos (Kuva et al., 2008). O que contribui por sua irregularidade na germinação no ambiente e dificulta sua mitigação com adoção de manejos.

A quantidade de sementes de plantas daninhas distribuídas ao longo da área é determinada pelas interferências das linhas de plantio, pela via de escoamento do solo, pela produção do número de sementes por espécie, pelo manejo no solo com máquinas agrícolas e na colheita da cana-de-açúcar e pela influência da palha após colheita.

Em relação às monocotiledôneas e dicotiledôneas provenientes de sementes pequenas, o controle da palha é eficaz, e as infestações ocorrem onde há irregularidade na distribuição da palha (Monquero et al., 2011). Assim pode ser observado a grande diferença de infestação da *Portulaca oleracea* e *Amaranthus sp*

nas duas áreas em comparação, onde essas sementes têm por suas características anatômicas serem pequenas e seu controle e/ou a sua irregularidade na germinação serem influenciadas pela palhada da cana-de-açúcar.

A *Ipomoea quamoclit* e a *Ipomoea grandifolia* apresentaram uma boa uniformidade na germinação nas duas áreas estudadas, o que informa que o tamanho da semente pode ser responsável pela sua manutenção no solo e a palhada agiu com pouca influência em seu controle e possivelmente a distribuição dessas sementes ocorreram por outros mecanismos, tais como pelo maquinário no processo de plantio, colheita e/ou pelo escoamento superficial do solo ao longo da inclinação.

O mapa de infestação possibilita o uso dessas informações para o planejamento adequado no controle das plantas daninhas. O mapeamento de plantas daninhas tem relevância para a aplicação de métodos de controle principalmente quando aliado ao levantamento fitossociológico (Nagahama et al., 2014). Isso deve-se por mostrar a estimativa da quantidade, o número de espécies e a localização das plantas daninhas. É uma ferramenta que auxilia no controle das plantas daninhas, trazendo benefício com maiores retornos econômicos, menor impacto ambiental e menor risco de resistência destas plantas, dependendo da aplicação localizada, com base na infestação real (Rocha et al., 2015). Além do benefício, uma redução nos impactos causados pela aplicação de agroquímicos no meio ambiente e na pessoa que o executa (Bottega et al., 2016).

O *Amaranthus sp.* apresentou infestação de maior ocorrência em pontos bem específicos do relevo. A espécie *Portulaca oleraceae* está com presença mais determinante na encosta superior em relação à meia encosta, onde apresentou um leve ponto de ocorrência. As espécies *Ipomoea grandifolia* e *Ipomoea quamoclit* apresentam infestação proporcional ocorrentes nas duas áreas, tanto na área superior quanto na meia encosta, que pode ser devido a característica morfofisiológica da própria semente, e decorrente da forma de dispersão e distribuição ao longo da área com a influência por agentes externos.

Segundo Monquero et al (2008), o uso de mapas de infestação é importante para observar a quantidade de sementes/m² das plantas daninhas em área de diferentes sistemas de colheita de cana de açúcar. Auxilia na identificação de zonas de manejo e infestação real da área, além de caracterizar tendências de agregação das plantas daninhas (Chiba et al., 2010). Fornece informações que permitem identificar locais com maior e menor concentração de incidência de plantas daninhas

(Dim et al., 2011). Logo, contribuí na mitigação das plantas daninhas por meio de manejo químico agindo em sítios localizados, reduzindo o uso de agrotóxicos e de custos nesta operação, além de proporcionar benefícios ambientais pela mitigação de resíduos oriundos deste manejo.

A identificação nos mapas de padrões espaciais da distribuição das sementes das plantas daninhas, nas áreas de encosta superior e meia encosta caracteriza o comportamento estrutural dessas distribuições e seus rearranjos com a influência do declive as quais as áreas estão submetidas e pelo fluxo de escoamento superficial do relevo. No entanto, a definição de espécies em declives suaves não está totalmente relacionada à remoção das sementes, mas às características quanto ao formato e apêndices (Wang et al., 2013).

Equiparados aos mapas de padrão espacial foi elaborado grafos onde consistiu na análise representada por pontos, estes que simbolizam o banco de sementes e suas dispersões levantados pelos parâmetros fitossociológicos, os quais mostram o comportamento destes em conexão. Neste caso, os grafos apresentam densidade entre os pontos conectados. Essa densidade mede o grau de coesão e homogeneidade (Fialho, 2014), da rede de conexão. Essa assertiva pode ser relacionada à continuidade espacial do mecanismo de infestação das plantas daninhas conforme a dispersão das sementes.

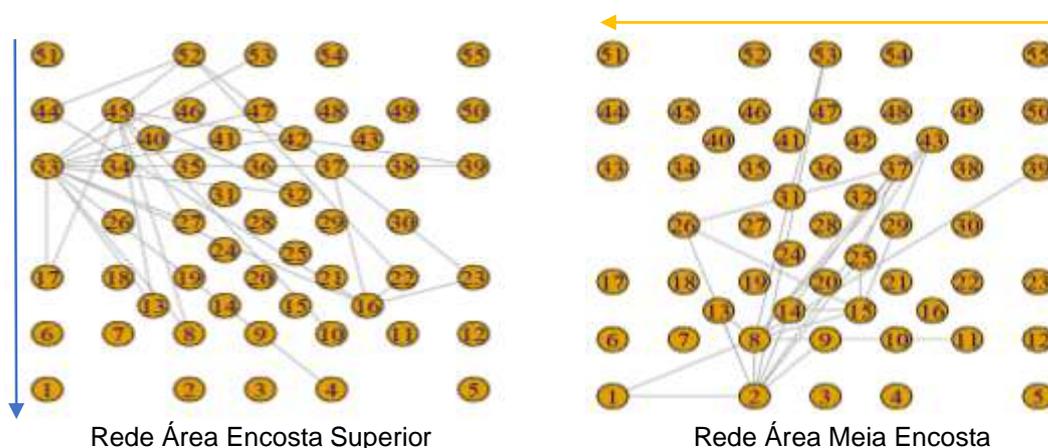


Figura 6. Rede de correlação das áreas de estudo. Rede Área (Encosta Superior) e Rede Área (Meia Encosta). Vetor de linha azul refere-se ao escoamento superficial mediante ao declive do terreno. Vetor de linha laranja refere-se as linhas de plantio e ao movimento da colheita de cana-de-açúcar por meio da mecanização.

Na encosta superior (Rede EnS), há uma presença maior de conectividade e proximidade de ligação entre os pontos, observando neste, maior densidade na rede,

enquanto na meia encosta (Rede MEn) apresentou densidade menor de rede. A densidade que retrata o número de relações observadas em relação ao número de relações possíveis (Higgins e Ribeiro, 2018). Essa representação esquemática do grafo confirma que o fluxo de mobilização das sementes de plantas daninhas tem mais correlação com o fluxo do escoamento superficial do eixo norte-sul. Isto pode ser equiparado as informações relacionadas a distribuição das sementes no eixo Y, referente à paisagem, que define o comportamento mais acurado no sentido do fluxo de escoamento superficial retratado na área. Percebe-se que a meia encosta, tem menos conectividade e proximidade de ligação entre os pontos, mesmo com a tendência ao fluxo de escoamento da superfície e considerando as características de dispersão das sementes ao longo do declive da superfície. Essa redução de distribuição de sementes no sentido norte-sul compreende-se pela palha dos resíduos do corte da cana-de-açúcar do sistema de plantio direto onde as sementes são retidas na rugosidade do solo e da palha no decurso da declividade. Logo a perspectiva de distribuição das sementes pode ser atribuída pela influência da paisagem relacionado ao declive do terreno e ao fluxo de escoamento superficial da água no sentido norte-sul. Os grafos demonstram proximidade e centralidade dos pontos de conexões favorável ao declive do terreno indicando como é distribuída as sementes no decurso da área.

A diferença de distribuição das sementes nas duas áreas (Encosta Superior e Meia Encosta) decorre das barreiras físicas correlacionados ao declive e ao solo, as linhas de plantio que se contrapõe à verticalização do escoamento superficial do terreno, a palhada no sistema de plantio direto onde mantêm-se muito rugoso e aprisionam grande parte do número de sementes e à realização de manejo com a colheita e reforma do canavial com a utilização de equipamentos agrícolas da mecanização, que enterra as sementes para as porções mais profundas do solo fazendo-as terem mais dificuldades de mobilização e distribuição mais equânime da área A para área B.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dados sobre a distribuição do banco de sementes de plantas daninhas em cultivo de cana-de-açúcar sob as análises da variabilidade espacial permitem a compreensão da dinâmica de mobilização dessas sementes no solo. Vários agentes externos interagem nessa dinâmica de distribuição contribuindo para a ocorrência de infestação em cultivos de cana-de-açúcar, o que acarreta ao ano, gastos exorbitantes em manejos para o controle das plantas daninhas.

As características das plantas daninhas em dispersar suas sementes, bem como o volume de sementes que cada planta produz torna-se um grande desafio para os produtores de cana-de-açúcar, uma vez que grande parte dessas sementes dispersadas pelas plantas matrizes manifestam-se a germinação de forma assíncrona, facultando diversas possibilidades de germinação em várias épocas concomitantes com o ciclo de produção da cana-de-açúcar. Causando uma verdadeira dificuldade em seu controle.

O advento de novas ferramentas tecnológicas auxilia no manejo e controle das plantas daninhas, além de contribuir para compreensão da biologia e do comportamento dessas plantas infestantes que competem com a cana-de-açúcar.

A ferramenta geoestatística é imprescindível para o entendimento da ocorrência em maior e menor percentual de infestação de plantas daninhas em áreas de cultivo de cana-de-açúcar permitindo um controle mais eficaz e localizado, por consequência estimando um menor custo com controle. Provou-se que o uso da geoestatística eleva a estimativa de precisão sobre a ocorrência de determinado fenômeno, nesse caso, para as plantas daninhas contribui para interpretar o nível da variabilidade espacial da distribuição de sementes de plantas daninhas em áreas de cultivo de cana-de-açúcar.

A análise de distribuição do banco de sementes de plantas daninhas por meio do esquema em grafos e redes observou a concentração de pontos de dispersão e distribuição das sementes de plantas daninhas otimizando a tomada de decisão sob o arranjo estrutural das fontes de dispersão em que essas sementes estão submetidas nas áreas de cultivo de cana-de-açúcar.

Mediante o auxílio dessas ferramentas tecnológicas é possível estabelecer estratégias com o suporte de vários métodos de controle para mitigar e /ou erradicar as plantas daninhas em áreas de cultivo de cana-de-açúcar.

6. CONCLUSÕES

O banco de sementes de plantas daninhas da comunidade é influenciado pelo relevo conforme a declividade e por meio do fluxo de escoamento superficial do terreno.

As análises individuais por espécies de plantas daninhas demonstraram não haver dependência espacial, nas espécies *Portulaca oleracea*, *Ipomoea grandifolia* e *Ipomoea quamoclit*. A dependência espacial ocorreu somente na espécie do gênero *Amaranthus*.

O uso de modelagem dos variogramas ajudou a entender a distribuição dos bancos de sementes de plantas daninhas e o comportamento destas distribuições, assim como os mapas digital de elevação e uso de grafos que permitiram interpretar o comportamento do banco de sementes e das espécies das plantas daninhas nas áreas estudadas.

O emprego das técnicas de geoestatística, o estudo fitossociológico e a análise de redes se complementam e direcionam para nortear a melhor forma de compreensão e distribuição das comunidades infestantes nas áreas de cana-de-açúcar.

REFERÊNCIA

- Acosta MVA, Spreafico EVP (2017) Grafos e sua contribuição para o agronegócio. **Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics**: 5:1-2.
- Adegas FS (2010) Levantamento fitossociológico de plantas daninhas na cultura do girassol. **Planta Daninha** 705-716.
- Amim RT, Freitas SDP, Freitas ILDJ, Scarso MF (2016) Banco de Sementes do Solo Após Aplicação De Herbicidas Pré-Emergentes Durante Quatro Safras de Cana-de-Açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 51: 1710-1719.
- Bajwa A, Mahajan G, Chauhan B (2015) Estratégias de manejo de ervas daninhas não convencionais para a agricultura moderna. **Weed Science** 63 : 723-747.
- Barreto F, Moura Í, Liberal V, Nascimento, W, Sampaio, M, Paulillo LCMS (2017) Cana-de-açúcar: Melhoramento Genético e Integração com Novas Biotecnologias Para A Produção De Biocombustíveis. **Diálogos & Ciência** 1(39).
- Barbosa DP, Bottega EL, Valente DSM, Santos NT, Guimarães WD, Ferreira MP (2019) Influence geometric anisotropy in management zones delineation. **Revista Ciência Agronômica** 50:543-551.
- Baskin CC, Baskin JM (1998) Seeds: Ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination. San Diego: Academic Press. 666p.
- Bassey MS (2020) Phytosociological attributes of weeds of sugarcane at Badeggi, Southern Guinea Savannah of Nigeria. **Net Journal of Agricultural Science** 8: 33-39.
- Batlla D, Ghera CM, Benech-Arnold RL (2020) Dormancy, a critical trait for weed success in crop production systems. **Pest management science** 76: 1189-1194.
- Bezerra JDC, Ferreira GDG, De Oliveira MW, De Souza Campos JM, De Andrade AP, Do Nascimento Júnior JRS (2018) Cana-de-açúcar: Melhoramento genético e suas finalidades forrageiras. **Nucleus Animalium** 10: 131-147.
- Bisognin G, Franco FB, Bisognin V (2001) Estudo de grafos e aplicações. **Disciplinarum Scientia| Naturais e Tecnológicas** 2: 69-83.
- Blanco FMG (2014) Classificação e Mecanismo de Sobrevivência das Plantas Daninhas. In: MONQUERO PA. Aspectos da Biologia e Manejo das Plantas Daninhas. São Carlos. Rima. 33-60.
- Boaventura Neto PO (2011) Grafos: Teoria, Modelos, Algoritmos. São Paulo: E. Blucher. 310p
- Bordonal RO, Carvalho JLN, Lal R, Figueiredo EB, Oliveira BG, La Scala N (2018) Sustainability of sugarcane production in Brazil. A review. **Agronomy for Sustainable Development** 38: 1-23.

Bottega EL, Pegoraro C, Guerra N, Oliveira Neto AMD, & Queiroz DMD (2016) Spatial and temporal distribution of weeds in no-tillage system. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 20: 1107-1111.

Bressan GM, Koenigkan LV, Oliveira VA, Cruvinel PE, Karam D (2006) Sistema de classificação fuzzy para o risco de infestação por plantas daninhas considerando a sua variabilidade espacial. Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em periódico indexado (ALICE). **Planta Daninha** 24: 229-238.

Braccini AL (2011) Banco de sementes e mecanismo de dormência em sementes de plantas daninhas In: Oliveira Júnior RS, Constantin J, Inoue MH. Biologia e manejo de plantas daninhas. Curitiba. Omnipax. 36-66.

Bressanin FN, Jayme Neto N, Nepomuceno MP, Alves PLDCA, Carrega WC (2016) Interference periods of velvet bean in sugarcane. **Ciência Rural** 46: 1329-1337.

Brighenti AM, Oliveira MF (2011) Biologia de plantas daninhas. In: Oliveira Júnior RS, Constantin J, Inoue MH. Biologia e manejo de plantas daninhas. Curitiba. Omnipax. 1-36.

Buhler DD, Hartzler RG, Forcella F (1997) Implications of weed seedbank dynamics to weed management. **Weed Science** 45: 329-336.

Cardoso AD, Viana AES, Barbosa RP, Teixeira PRG, Júnior NDSC, Fogaça JJNL (2013) Levantamento fitossociológico de plantas daninhas na cultura da mandioca em Vitória da Conquista, Bahia. **Bioscience Journal** 29(5).

Carvalho LB (2013) Plantas Daninhas. Lages: SC. Editado pelo autor 82p.

Cavers PB (1995) Seed banks: memory in soil. **Canadian Journal of Soil Science** 75: 11-13.

Cerdà A, Garcia-Fayos P (2002) The influence of seed size and shape on their removal by water erosion. **Catena**. 48: 293-30.

Chartrand G (1977) Introductory Graph Theory. Boston: Prindle, Weber & Schmidt. 294p

Charnet R, Freire CAL, Charnet EMR, Bonvino H (2015) Análise de Modelos de Regressão Linear: com aplicações. Campinas:SP. Editora Unicamp. 368p.

Chiba MK, Guedes Filho O, Vieira SR (2010) Variabilidade espacial e temporal de plantas daninhas em Latossolo Vermelho argiloso sob semeadura direta. **Acta Scientiarum. Agronomy** 32: 735-742.

Christoffoleti PJ, Victoria Filho R, Silva CBD (1994) Resistência de plantas daninhas aos herbicidas. **Planta Daninha** 12: 13-20.

Christianini AV, Martins MM (2015) Frugivoria e Dispersão de Sementes. In: PINÃO-Rodrigues, F, Figliolia M, Da Silva A. Sementes Florestais Tropicais: da ecologia à produção. 83-101.

Companhia Nacional de Abastecimento (2019) Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar – safra 2019/2020. Brasília. 58p.

Concenço G, Tomazi M, Correia IVT, Santos SA, Galon L (2013) Phytosociological surveys: tools for weed science? **Planta Daninha**, 31: 469-482.

Concenço G, André A, Ferreira da Silva A, Galon L, Ferreira EA, Aspiazú I (2014) Ciência das plantas daninhas: Histórico, Biologia, ecologia e fisiologia. In: MONQUERO PA (Ed). Aspectos da Biologia e manejo das plantas daninhas. São Carlos: Rima, 1-32.

Cornet D, Sierra J, Tournebize R, Gabrielle B, Lewis FI (2016) Bayesian network modeling of early growth stages explains yam interplant yield variability and allows for agronomic improvements in West Africa. **European journal of agronomy** 75: 80-88.

Cruz AP, Higuchi P, Silva ACD, Kilca RDV, Dallabrida JP, Souza K, ... & Loebens R (2018) Inter-relação entre paisagem, organização florístico-estrutural edemografia do componente arbóreo em Floresta com Araucárias. **Ciência Florestal** 28: 67-79.

De Abreu D, De Moraes LA, Nascimento EN, & De Oliveira, RA (2011) A produção da cana-de-açúcar no Brasil e a saúde do trabalhador rural. **Revista Brasileira de Medicina do Trabalho**, 49-61.

De Barros RP, Reis LS, Magalhães ICS, Da Silva WF, Da Costa JG, Dos Santos AF (2018) Phytosociology of Weed Community in Two Vegetable Growing Systems. **African Journal of Agricultural Research** 13: 288-293.

De Rouw, A. et al. (2018) Weed seed dispersal via runoff water and eroded soil. **Agriculture, Ecosystems and Environment** 265: 488-502

De Vicente A, Rizzi RL (2011) Uma Aplicação de Grafos a um Problema Agrícola, Envolvendo Distribuição de Água e Transportes. **REVISTA ENGENHARIA NA AGRICULTURA - REVENG** 19: 203-209.

Dessaint F, Chadoeuf R, Barralis G (1991) Spatial pattern analysis of weed seeds in the cultivated soil seed bank. **Journal of Applied Ecology** 28: 721-730.

Deuber, R. Botânica das plantas daninhas (1992) In: Deuber, R. **Ciência das Plantas Daninhas** Jaboticabal: FUNEP, 31-73.

Dim VP, Santos AC, Neves Neto DN, Silva LL, Ramos PC, Monteiro (2011) Distribuição espacial de plantas daninhas e produção de forragem em áreas de pastejo contínuo. **Revista Brasileira Saúde Produção Animal** 12: 296-305, 2011.

Do Nascimento KS, Do Nascimento BRM, Júnior DGC, Neto EDR, Da Silva GC, Borges Filho MRDS (2020). Análise exergética de biorrefinaria de cana-de-açúcar em paralelo a usina sucroalcooleira tradicional. **Brazilian Journal of Development** 6: 70293-70310.

Dos Santos Machado CM, Trevisan V (2001) Grafos: algumas aplicações clássicas. **VETOR-Revista de Ciências Exatas e Engenharias** 11: 17-28.

Downing D, Clark J (2011) Estatística Aplicada. São Paulo: SP. Saraiva.368p.

Ehsanullah KJ, Jamil M, Ghafar A (2011) Optimizing the row spacing and seeding density to improve yield and quality of sugarcane. **Crop & Environment**, 2: 1-5.

Ellenberg D, Mueller-Dombois, D (1974) Aims and methods of vegetation ecology. New York: Wiley.

Estrada, Ernesto (2015) Graph and Network Theory. **Digital Encyclopedia of Applied Physics**, 1-48.

Farias PRS, Nociti LAS, Barbosa JC, Perecin, D (2003) Agricultura de precisão: mapeamento da produtividade em pomares cítricos usando geoestatística. **Revista Brasileira de Fruticultura**, 235-241.

Fernandes Lima S, Timossi PC, Paulo Almeida D, Ramos Da Silva U (2014) Fitossociologia de Plantas Daninhas Em Convivência Com Plantas de Cobertura. **Revista Caatinga** 27:37-47.

Ferreira ECA, De Mendonça CG, Montanari R, Possamai ACS, De Mendonça CG (2013) Espacialização do banco de sementes de plantas daninhas sob diferentes manejos de cana-de-açúcar em rio brilhante, MS **Bioscience Journal** 29(5).

Ferreira RV, Contato ED, Kuva MA, Ferraudo AS, Alves PLCA, Magario FB, Salgado TP (2011) Organização das comunidades infestantes de plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar em agrupamentos-padrão. **Planta Daninha** 29: 363-371.

Fialho JMR (2014) Análise de Redes Sociais: princípios, linguagem e estratégias de ação na gestão do conhecimento. **Perspectivas em Gestão & Conhecimento** 4: 9-26.

Floriano EP (2009) Fitossociologia Florestal. São Gabriel: UNIPAMPA. 144p.

Fontes JRA, Shiratsuchi LS, Neves JN, De Julio L, Filho JS (2003) Manejo Integrado de Plantas Daninhas. Planaltina-DF. Embrapa Cerrados. 48 p.

Forcella F, Lindstrom MJ (1988) Weed seed populations in ridge and conventional tillage. **Weed Science** 500-503.

Freeman LC (1978) Centrality in social networks conceptuais clarification. **Social networks** 1: 215-239.

Fukumoto, G. Y., & Langhi, P. P. (2015). Teoria dos Grafos na Tomada de Decisão. **ETIC-ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA** 11(11).

Gallardo ALCF, Duarte CG, Dibo APA (2016) Avaliação Ambiental Estratégica para o planejamento da expansão da cana-de-açúcar: uma proposta de roteiro. **Ambiente & Sociedade** 19: 67-94.

Galon L, Tironi SP, Faria AT, Silva AD, Silva AD, Concenço, G, ... & Aspiázú I (2011) Interferência da *Brachiaria brizantha* nas características morfológicas da cana-de-açúcar. **Planta Daninha** 29(SPE) 1029-1036.

GARRETT KA et al (2018) Networks analysis: a systems framework to address grand challenges in plant pathology. **Annual Review of Pathology**. 56: 559-580.

Gazziero DLP, Adegas FS, Prete CEC, Ralisch R, Guimarães MDF (2001) As plantas daninhas e a semeadura direta. Londrina: Embrapa Soja, 59p (Embrapa Soja. Circular Técnica, 33).

Giraldeli AL, Carrara De Brito F, Moreira Silva AF, Apolari Ghirardello G, Viviani Pagenotto AC, Pereira De Moraes J (2018) Initial interference of *Cyperus rotundus* L. in pre-sprouted seedlings of sugarcane cultivars RB985476 and IACSP95-5000. **Agronomía Colombiana** 36: 210-216.

Gomes GLGC, Ibrahim FN, Macedo GL, Nobrega LP, Alves E (2010) Cadastramento fitossociológico de plantas daninhas na bananicultura. **Planta Daninha** 28: 61-68.

Goovaerts P (1997) Geostatistics for Natural Resources Evaluation. Oxford University Press. New York. 477p

Heckmann T, Schwanghart W, Phillips JD (2015) Teoria dos grafos — Desenvolvimentos recentes de sua aplicação em geomorfologia. **Geomorphology** 243: 130-146.

Heisel T, Andreasen C, Ersboll AK (1996) Annual weed distributions can be mapped with kriging. *Weed Research Society* 36: 325-337.

Higgins SS, Ribeiro ACA (2018) Análise de redes em Ciências Sociais. Brasília: Enap, 227 p.

Hijano N, Orzari I, Colombo WL, Neponucemo MP, Alves PLCA (2021) Interferência: conhecer para usá-la a nosso favor. In: Barroso AAM, Murata AT. Matologia: estudo sobre plantas daninhas. Jaboticabal. Fábrica de palavra. 106-144.

Hossain MM, Begum M (2015) Soil weed seed bank: Importance and management for sustainable crop production-A Review. **Journal of the Bangladesh Agricultural University** 13: 221-228.

Humston R, Mortensen DA, Bjornstad ON (2005) Anthropogenic forcing on the spatial dynamics of an agricultural weed: the case of the common sunflower. **Journal of Applied Ecology** 42: 863-872.

Iqbal M, Khan S, Khan MA, Rahman IU, Abbas Z (2015) Exploration and inventorying of weeds in wheat crop of the district Malakand, Pakistan. **Pakistan Journal of Weed Science Research** 21(3).

Jaiswal D, De Souza AP, Larsen S, LeBauer DS, Miguez FE, Sparovek, G, ... Long, SP (2017) Brazilian sugarcane ethanol as an expandable green alternative to crude oil use. **Nature Climate Change** 7: 788-792.

Jerônimo EM (2018) Produção de açúcar mascavo, rapadura e melado no âmbito da agricultura familiar e sua importância na alimentação humana. *Ciência alimentando o Brasil*.

Jiao J, Zou H, Jia Y, Wang N (2009) Research progress on the effects of soil erosion on vegetation. **Acta Ecologica Sinica**, 29: 85-91.

Journel AG, Huijbregts CJ (2003) Mining Geostatistics. Blackburn Press. 660p.

Junior S, Pinto FAC, Queiroz DM, Gómez-Gil J, Navas-Gracia LM (2012) Weed mapping using a machine vision system. **Planta Daninha**, 30: 217-227.

Krenchiski FH, Albrecht LP, Pereira VGC, Albrecht AJP, Cesco VJS, Rodrigues DM, Bauer F (2016) Phytosociological and Floristic Survey of Weeds in Western Paraná. **African Journal of Agricultural Research** 11: 1453-1551.

Kitanidis PK (1997) Introduction to Geostatistics: Applications to Hydrogeology. Cambridge: Cambridge University Press. 271p.

Korres NE, Norsworthy JK, Young BG, Reynolds DB, Johnson WG, Conley SP, ... & Bagavathiannan MV (2018) Seedbank persistence of Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) and waterhemp (*Amaranthus tuberculatus*) across diverse geographical regions in the United States. **Weed Science** 66:446-456.

Kumar A, Choudhary T, Das S, Meena SK (2019) Weed seed bank: Impacts and management for future crop production. In: Agronomic Crops. Springer, Singapore. 207-223.

Kuva MA, Pitelli RA, Christoffoleti PJ, Alves PL (2000) Períodos de interferência das plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar: I-Tiririca. **Planta Daninha** 18: 241-251.

Kuva MA, Ferraudo AS, Pitelli, RA, Alves, PLCA, Salgado, TP (2008) Padrões de infestação de comunidades de plantas daninhas no agroecossistema de cana-crua. **Planta Daninha** 26: 549-557.

Kuva MA, Pitelli RA, Alves PLCA, Salgado TP, Pavani MCDM (2008) Banco de sementes de plantas daninhas e sua correlação com a flora estabelecida no agroecossistema cana-crua. **Planta Daninha** 26: 735-744.

Kyriakidis PC, Journel AG (1999) Geostatistical space-time models: a review. **Mathematical Geology**, 31: 651-684.

Lai RLDL, Ribeiro SRS, Barroso AAM, Shuster MZ (2021) Ecologia de populações e comunidade de plantas daninhas. In: Barroso AAM, Murata AT. Matologia: estudo sobre plantas daninhas. Jaboticabal. Fábrica da Palavra. 38-59.

Landim PMB (2006) Sobre Geoestatística e Mapas. **Terra e Didática** 2: 19-33.

Lankriet E, Poppe M (2019) Sistema de Inovação Tecnológica da Agroenergia da Cana-de-açúcar no Brasil—da sua gênese à transição agroecológica atual. **Parcerias Estratégicas** 23(46): 49-88.

Levin SA, Muller-Landau HC, Nathan R, Chave J (2003) The ecology and evolution of seed dispersal: a theoretical perspective. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics** 34: 575-604.

Lopes SF, Oliveira AP, Neves SB, Schiavini I (2010) Dispersão de sementes de uruvalheira (*Platypodium elegans* VOG.) (*Fabaceae*) em um cerradão, Uberlândia-MG. *Revista Árvore* 34:807-813.

Lorenzi H (2008) Plantas daninhas do Brasil: terrestres, aquáticas, parasitas e tóxicas. São Paulo. Ed. Nova Odessa.

Lousada LL, Freitas SP, Marciano CR, Esteves BS, Muniz RA, Siqueira DP (2013) Correlation of Soil Properties with Weed Occurrence in Sugarcane Areas. **Plantas Daninhas** 31:765-775.

Lyra T, Oliveira C (2011) Um Estudo Sobre Confiabilidade de Redes e Medidas de Centralidade em Uma Rede de Co-Autoria. **Pesquisa Operacional Para O Desenvolvimento** 3: 160-172.

Malavasi UC, Malavasi, MDM (2012) Influência do tamanho e do peso da semente na germinação e no estabelecimento de espécies de diferentes estágios da sucessão vegetal. **Floresta e ambiente** 8: 212-215.

Marteli AN, Piroli EL (2015) Performance analysis of interpolators for elaboration of pH map for family farms. **Applied Research & Agrotechnology** 8: 87-98.

Masson IDS, Costa GHG, Roviero JP, Freita LAD, Mutton MA, Mutton MJR (2015) Produção de Bioetanol a Partir da Fermentação de Caldo de Sorgo Sacarino e Cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, 45: 1695-1700.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA. Etanol - Comércio Exterior Brasileiro 2019. Brasília: MAPA, 2020. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/agroenergia/etanol-comercio-exterior-brasileiro>. Acesso em: 09 nov. 2020.

Martinelli R, Ferreira CSS, Orzari I (2019) Controle de Plantas Daninhas. Londrina. Editora e Distribuidora Educacional S.A. 192p.

Martins APC, Albrecht LP, Castaldo J, Carneiro R, Zucareli V (2015) Novas tecnologias no plantio de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*). **J Agron Sci**, 4: 301-317.

Martins MB, Munhos TF, Vighi VA, da Rosa RF, Timm C, Theisen G, Andres A (2020) Manejo de *Amaranthus hybridus* em área de integração lavoura-pecuária na região sul do rio grande do sul. **Revista Brasileira de Herbicidas** 19:734-1.

Monquero PA, Silva PV, Hirata ACS, Martins FRA (2011) Monitoramento do banco de sementes de plantas daninhas em áreas com cana-de-açúcar colhida mecanicamente. **Plantas Daninhas**, 29: 107-119.

Monquero PA, Hirata ACS, Pitelli RA. Métodos de Levantamento da Colonização de Plantas Daninhas (2014). In: Monquero PA. Aspectos da Biologia e Manejo das Plantas Daninhas. São Carlos. Rima. 103-127.

Mossin CB, Hijano N, Nepomuceno MP, Carvalho LB, Alves PLCA (2019) Interference Relationships Between Weeds and Sugarcane in the 'Plene' System. **Planta Daninha** 37.

Munsif F, Ali K, Khalid S, Ali A, Ali M, Ahmad M, ... Basir A (2015) Influence of row spacing on weed density, biomass and yield of chip bud settling of sugarcane. *Pak. J. Weed Sci. Res* 21(1).

Nagahama HJ, Cortez JW, Concenço G, Araujo VF, Honorato AC (2014) Dinâmica e variabilidade espacial de plantas daninhas em sistemas de mobilização do solo em sorgo forrageiro. **Planta Daninha** 32: 265-274.

Nachiluk K (2020) Cana-de-açúcar: produção e processamento em 2019. **Análise de Indicadores do Agronegócio** 15: 1-4.

Neve P, Norsworthy JK, Smith KL, Zelaya IA (2011) Modelling evolution and management of glyphosate resistance in *Amaranthus palmeri*. **Weed Research** 51: 99-112.

Nocelli RCF, Zambon V, Guilherme O, Da Silva M, De Castro Morini MS (2017) Histórico da cana-de-açúcar no Brasil: contribuições e importância econômica. In: Fontanetti CS, Bueno OC. Bauru: Canal 6 Editora. Cana-de-açúcar e seus impactos: uma visão acadêmica 13. 13-30.

Nunes FEA, Schaedler C, Chiapinotto DM (2018) Weed phytosociological survey in irrigated rice. **Planta Daninha** 36.

Olea RA (1999) Geostatistics for Engineers and Earth Scientist. Kansas: Springer Science+Business Media LLC. 303p.

Oliver MA (1987) Geostatistics and its application to soil science. **Soil use and management** 3: 8-20.

Oliveira AR, Freitas SP (2008) Levantamento Fitossociológico em Plantas daninhas em Áreas de Produção de Cana-de-Açúcar. **Planta Daninha** 26:33-46.

Pará T, Dantas S, De Alcantara C, Gonçalves I (2019) Passeando Em Grafos: uma abordagem de teoria de grafos no ensino médio. **Revista de Educação, Ciências e Matemática** 9(3).

Paula RJD, Esposti CD, Toffoli CRD, Ferreira PS (2018) Weed interference in the initial growth of meristem-grown sugarcane plantlets. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 22: 634-639.

Penfield S, MacGregor DR (2017) Effects of environmental variation during seed production on seed dormancy and germination. *Journal of experimental botany* 68: 819-825.

Pereira CN, Silveira JMFJ (2016) Análise exploratória da eficiência produtiva das usinas de cana-de-açúcar na região Centro-Sul do Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural** 54: 147-166.

Phillips JD, Schwanghart W, Heckmann T (2015) Teoria dos grafos nas geociências. **Earth-Science Reviews** 143: 147-160.

Pitelli RA (1985) Interferência de plantas daninhas em culturas agrícolas. **Informe agropecuário** 11: 16-27.

Pitelli RA (1987) Competição e controle das plantas daninhas em áreas agrícolas. **Série Técnica IPEF** 4: 1-24.

Pitelli RA, Durigan JC (2001) Ecologia das plantas daninhas no sistema de plantio direto. In: Rossello, RD Siembra directa en el cono sur. Montevideo: PROCISUR, 203-210.

POTT, L. P et al. (2019) Variabilidade espacial da planta daninha azevém em cultivo de trigo utilizando diferentes malhas amostrais. **Tecno-Lógica** 23: 93-99

Pyrz MJ, Deutsch CV (2014) Geostatistical reservoir modeling. New York: Oxford university press. 496p.

Quartezani WZ, Hell LR, Cunha Junior JDO, Moraes WB, Belan LL, Moraes SDPCB, ... Furtado EL (2018) Análise geoestatística do “vira-cabeça” na cultura do tomateiro. **Summa Phytopathologica** 44: 51-55.

Ribas RP, Gontijo BM, Moura ACM (2016) Análise da Conectividade de Fragmentos da Vegetação na Paisagem: estudo na região da serra do espinhaço em Minas Gerais. **Revista Brasileira de Cartografia** 68: 301-312.

Rocha FC et al. (2015) Weed mapping use techniques of precise agriculture. **Planta Daninha** 33 : 157-164.

Rodrigues GSDSC, Ross JLS (2020) A trajetória da cana-de-açúcar no Brasil: perspectivas geográfica, histórica e ambiental [online]. Uberlândia: EDUFU. 269p.

Roham R, Pirdashti H, Yaghubi M, Nematzadeh G (2014) Spatial distribution of nutsedge (*Cyperus* spp. L.) seed bank in rice growth cycle using geostatistics. **Crop Protection** 55: 133-141.

Rossi RE, Mulla DJ, Journel AG, Franz EH (1992) Geostatistical tools for modeling and interpreting ecological spatial dependence. **Ecological Monographs** 62: 277-314.

Santos PD, Becari DR, Simioni MLS, Simão PA, De Cordova Gobetti ST (2018) Cana de açúcar na alimentação de ruminantes. **Ciência Veterinária UniFil** 1: 49-60.

Schaffrath VR, Tormena CA, Gonçalves AC, Oliveira Junior RSD (2007) Variabilidade espacial de plantas daninhas em dois sistemas de manejo de solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 11: 53-60.

Shiratsuchi LS, Christoffoleti PJ, Fontes JRA (2003) Mapeamento da variabilidade espacial das plantas daninhas. Embrapa Cerrados-Documentos (INFOTECA-E). 30p.

Silva AFM, Giraldele AL, Silva GS, Araujo LS, Albrecht AJP, Albrecht LP, Filho RV (2021) Introdução a ciência das plantas daninhas. In: Barroso AAM, Murata AT. *Matologia: estudo sobre plantas daninhas*. Jaboticabal. Fábrica da Palavra. 07-37.

Silva AFMS, Gomes GN, Bacchi MRP (2019) A importância das cadeias da cana-de-açúcar: uma análise insumo-produto. **Revista Economia Ensaios** 33(2).

Silva IAB, Kuva MA, Alves PLCA, Salgado TP (2009) Interferência de uma comunidade de plantas daninhas com predominância de *Ipomoea hederifolia* na cana-soca. **Planta Daninha** 27: 265-272.

Silva SDA, Lima JSDS (2012) Avaliação da variabilidade do estado nutricional e produtividade de café por meio da análise de componentes principais e geoestatística. **Revista Ceres** 59: 271-277.

Simões-Pereira JMS (2013) *Grafos e Redes: teoria e algoritmos básicos*. Rio de Janeiro: Interferência. 354p.

Somerville GJ, Sønderkov M, Mathiassen SK, Metcalfe H (2020) Spatial modelling of within-field weed populations; a review. **Agronomy** 10: 1044.

Souza, ZMD, Marques Júnior J, Pereira GT (2010) Geoestatística e atributos do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. **Ciência Rural** 40: 48-56.

Sprengelmeyer EE, Rebertus AJ (2015) Seed bank dynamics in relation to disturbance and landscape for an ant-dispersed species. **Plant Ecol.** 216:371–381.

Takim FO, Fadayomi O, Alabi MA, Olawuyi OJ (2014) Impact of natural weed infestation on the performance of selected sugarcane varieties in the southern Guinea savanna of Nigeria. **Ethiopian Journal of Environmental Studies and Management** 7: 279-288.

TIXIER P et al. (2013) Modelling interaction networks for enhanced ecosystem services in agroecosystems. In: **Advances in Ecological Research**. Academic Press. 437-480.

Thompson K, Grime JP (1979) Seasonal variation in the seed banks of herbaceous species in ten contrasting habitats. **The Journal of Ecology** 67: 893-921.

Torquato SA, De Jesus KRE, Zorzo CRB (2015) Inovações no sistema de produção de cana-de-açúcar: uma contribuição do Protocolo Agroambiental para a região de Piracicaba, estado de São Paulo. **Informações Econômicas** 45: 28-37.

Walck JL, Baskin JM, Baskin CC (1996) An ecologically and evolutionarily meaningful definition of a persistent seed bank in *Solidago*. **Amer. J. Bot.** 83: 78-79.

Wang D et al. (2013) Effects of seed morphology on seed removal and plant distribution in the Chinese hill-gully Loess Plateau region. **Catena** 104: 144-152.

Vasconcelos MCC, Silva AFA, Lima RS (2012) Interferências das Plantas Daninhas sobre Plantas Cultivadas. **Agropecuária Científica no Semiárido**. 8:01-06.

- Vieira SR (2000) Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo** 1: 1-53.
- Vieira SR, Xavier MA, Grego CR (2008) Aplicações de Geoestatística em Pesquisas com Cana-de-Açúcar. In: Dinardo-Miranda LL, Vasconcelos ACM, Landell MGA. Cana-de-Açúcar. Instituto Agronômico. Campinas. 839-852.
- Vivian R, Silva AA, Gimenes JR M, Fagan EB, Ruiz ST, Labonia V (2008) Dormência em sementes de plantas daninhas como mecanismo de sobrevivência: breve revisão. **Planta Daninha** 26(3): 695-706.
- Voll E (2000) Agricultura de Precisão: Manejo de plantas daninhas. ALUÍSIO Borém e outros. **Agricultura de Precisão**. Viçosa: Giúdice e Borém. 203-235
- Yamamoto JK, Landim PMB (2013) Geoestatística: conceitos e aplicações. São Paulo. Oficina de Textos. 216p.
- YIREFU, F. et al. (2013) Weed interference in the sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) plantations of Ethiopia. **Agriculture, Forestry and Fisheries**. 2: 239-247.
- Zera FS, Schiavetto AR, Azania CAM (2016) Interferência de plantas daninhas em mudas pré-brotadas (MPB) de cana-de-açúcar nas tecnologias Plene PB, Plene Evolve e MPB-IAC. **Revista STAB** 34: 15-19.
- Zimdahl RL (1999) Fundamentals of Weed Science. Fort Collins. Academic Press. 556p.
- Zucoloto M, De Souza LIMA JS, Coelho RI (2009) Uso da geoestatística na probabilidade de ocorrência do mal-do-panamá em bananeira prata anã. **Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín** 62: 4793-4796.