

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL

PLANEJAMENTO VARIETAL DE CANA-DE-AÇÚCAR
UTILIZANDO SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA DO SOLO

Michelle Gimenes Catelan

Engenheira Agrônoma

2019

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**PLANEJAMENTO VARIETAL DE CANA-DE-AÇÚCAR
UTILIZANDO SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA DO SOLO**

Michelle Gimenes Catelan

Orientador: Prof. Dr. José Marques Júnior

Coorientador: Dr. Diego Silva Siqueira

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Ciência do Solo).

2019

C358p

Catelan, Michelle Gimenes

Planejamento varietal de cana-de-açúcar utilizando suscetibilidade magnética do solo / Michelle Gimenes Catelan. -- Jaboticabal, 2019
58 f. : il., tabs. + 1 CD-ROM

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientador: José Marques Júnior

Coorientador: Diego Silva Siqueira

1. Produtividade. 2. Qualidade. 3. Suscetibilidade magnética. 4.
Variedade. I. Título.

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

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: PLANEJAMENTO VARIETAL DE CANA-DE-AÇÚCAR UTILIZANDO
SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA DO SOLO

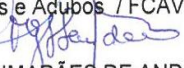
AUTORA: MICHELLE GIMENES CATELAN

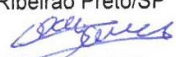
ORIENTADOR: JOSÉ MARQUES JUNIOR

COORDINADOR: DIEGO SILVA SIQUEIRA

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em AGRONOMIA (CIÊNCIA
DO SOLO), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. JOSÉ MARQUES JUNIOR
Departamento de Solos e Adubos / FCAV / UNESP - Jaboticabal


Prof. Dr. MARCOS GUIMARÃES DE ANDRADE LANDELL
Centro de Cana-IAC / Ribeirão Preto/SP


Prof. Dr. ALAN RODRIGO PANOSSO
Departamento de Ciências Exatas / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 02 de agosto de 2019

DADOS CURRICULARES DA AUTORA

MICHELLE GIMENES CATELAN – nascida no dia 1º de dezembro de 1992, no município de São José do Rio Preto – SP, cursou Engenharia Agrônômica pela Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Câmpus de Piracicaba – SP, de 2011 a 2015. Atualmente, é aluna de Mestrado do curso de Pós-Graduação em Agronomia (Ciência do Solo) pela FCAV/UNESP Jaboticabal. Membro do grupo de pesquisa Caracterização do Solo para fins de Manejo Específico (CSME) da UNESP - Câmpus de Jaboticabal. Suporte Técnico de Processo de Qualidade Agrícola na Usina Santa Cruz - Grupo São Martinho, em Américo Brasiliense – SP.

*“Se não podes entender, crê para que entendas.
A fé precede, o intelecto segue.”*

(Santo Agostinho)

DEDICO

Aos meus queridos avós
Francisco Gimenes Fernandes e
Ester dos Santos Gimenes (*in memoriam*)

OFEREÇO

Aos meus pais
Marcos Antônio Catelan e
Cláudia Maria Gimenes Catelan

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela bênção da vida, amparo nos momentos difíceis, força e coragem nos momentos de fraqueza e pela oportunidade de realizar este feito.

Ao meu orientador Professor José Marques Júnior e ao meu coorientador Diego Silva Siqueira, pelos ensinamentos, orientação e confiança durante este período de mestrado.

Agradeço a todos os integrantes do grupo Caracterização do Solo para Fins de Manejo Específico (CSME), Romário Pimenta Gomes, Laércio Santos Silva, Angélica Bahia, Kathleen Fernandes, Frederico Siansi, Ana Beatriz França, pela troca de experiências e acompanhamento durante a pesquisa e a realização deste trabalho.

Ao Professor Alan Rodrigo Panosso e à Aline Moreno Ferreira dos Santos, pela orientação na análise estatística dos dados.

Ao Professor Vitorio Barato Neto, pela grande ajuda na correção gramatical, de acordo com as novas regras da Academia Brasileira de Letras.

À Usina São Martinho, pela concessão da área de estudo, e à Usina Santa Cruz, pelo apoio na condução deste trabalho. A Luís Gustavo Teixeira, Luiz Alberto Henriques, Bruno Henrique Silveira Mazaron, Marcos Antônio Marcari, Vargas Henrique Bellafronte Porto e Aimée Regali Seleglim, pelo apoio profissional e amigo.

A todos os que, verdadeiramente, torceram por mim e que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a conclusão deste curso de mestrado.

Muito obrigada!

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	ix
ABSTRACT	x
LISTA DE TABELAS	xi
LISTA DE FIGURAS	xii
CAPÍTULO 1 – Considerações gerais	1
1 Introdução	1
1.2 Revisão de Literatura	3
1.2.1 Melhoramento varietal de cana-de-açúcar.....	3
1.2.2 Planejamento varietal.....	6
1.2.3 Zonas específicas de manejo com base na suscetibilidade magnética	9
1.3 Referências	14
CAPÍTULO 2 – Planejamento varietal de cana-de-açúcar utilizando suscetibilidade magnética do solo	21
Resumo	21
Abstract	22
2.1 Introdução	23
2.2 Material e Métodos	26
2.2.1 Localização e caracterização da área.....	26
2.2.2 Planejamento amostral estratificado	27
2.2.3 Análises de solo e planta	28
2.2.4 Modelagem matemática, estatística e análise multivariada.....	31
2.3 Resultados e Discussão	34
2.3.1 Caracterização e espacialização dos atributos do solo e da planta.....	34
2.3.2 Identificação das áreas com diferentes potenciais para produtividade e qualidade por técnica de estatística multivariada.....	40
2.3.3 Utilização da suscetibilidade magnética para alocação de variedades	47
2.4 Conclusões	53
2.5 Referências	54
CAPÍTULO 3 – Considerações finais	58

PLANEJAMENTO VARIETAL DE CANA-DE-AÇÚCAR UTILIZANDO SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA DO SOLO

RESUMO – A falta de detalhamento nas informações sobre os atributos do solo, nas áreas cultivadas é um fator limitante para aumentar a assertividade na alocação de variedades de cana-de-açúcar em diversos ambientes edafoclimáticos. Atualmente, o conceito de ambientes de produção é amplamente utilizado para classificar o potencial de produtividade dos solos, e a suscetibilidade magnética surge como uma ferramenta importante para mapear áreas de forma ultradetalhada e com baixo custo. Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo avaliar a utilização da suscetibilidade magnética como ferramenta na identificação de áreas com diferentes potenciais para produtividade e qualidade de cana-de-açúcar e sua utilização na alocação de variedades. Foram amostrados 445 ha com grid de 1 ponto a cada 5 hectares e, seguindo o espigão da paisagem, foram determinados 14 pontos para amostragem estratificada. Analisaram-se a granulometria e a suscetibilidade magnética de amostras, nas profundidades de 0,0-0,2 m e 0,2-0,4 m. Os dados de produtividade e de qualidade da matéria-prima foram obtidos via banco de dados de 9 safras e biometria realizada na safra de 2018/2019. Como resultados, observou-se alta correlação dos teores de argila e de areia com a expressão magnética. Pela análise multivariada dos resultados históricos, observou-se a organização de 3 grupos com diferentes potenciais de produtividade e de qualidade, diferenciando em até 17,28TCH o resultado entre o grupo com maior e menor potencial, baseado na suscetibilidade magnética do solo. Para os resultados de biometria, as classes de maior suscetibilidade magnética apresentaram a maior produtividade e o menor acúmulo de açúcar. Analisando o desempenho de variedades, a suscetibilidade magnética foi eficaz na identificação de áreas com diferentes potenciais para produtividade e qualidade de cana-de-açúcar, diferenciando em até 34,5% o desempenho da mesma variedade em classes de suscetibilidade magnética diferentes e em até 38,5% o desempenho de variedades diferentes em classes de suscetibilidade magnética similares. A suscetibilidade magnética apresentou-se como uma ferramenta que pode ser utilizada para auxiliar a alocação de variedades com maior assertividade. As variedades mais responsivas podem ser alocadas nas classes de maior suscetibilidade magnética, enquanto as variedades menos responsivas podem ser alocadas nas classes de menor suscetibilidade magnética.

Palavras-chave: produtividade, qualidade, suscetibilidade magnética, variedade

VARIETAL PLANNING OF SUGARCANE USING SOIL MAGNETIC SUSCEPTIBILITY

ABSTRACT – The lack of detail in the information on soil attributes in cultivated areas is a limiting factor to increase assertiveness in the allocation of sugarcane varieties in various edaphoclimatic environments. Nowadays, the concept of production environments is used to classify soil execution potential and a magnetic increase in susceptibility as an important tool for mapping ultra-detailed and low cost areas. In this context, this work aims to evaluate magnetic susceptibility, how to use tools to identify areas with different levels of use and quality of sugarcane and its use in the allocation of varieties. 445 ha were sampled with 1 point grid every 5 hectares and, following the understanding of the landscape, 14 points were selected for stratified sampling. Particle size and magnetic susceptibility of dimensions at depths of 0.0-0.2 m and 0.2-0.4 m were analyzed. Test data and raw material quality data were obtained through a 9-crop database and biometrics performed in the 2018/2019 crop. As a result, high correlation of clay and sand content with magnetic expression. By multivariate analysis of historical results, it is possible to organize 3 groups with different levels of use and quality, differentiating up to 17.28TCH or the result between the group with higher and lower potential, based on soil magnetic susceptibility. For biometrics results, as the classes of higher magnetic susceptibility observed in the largest difference and lowest sugar accumulation. Analyzing variety performance, magnetic susceptibility was effective in identifying areas with different levels of sugar use and quality in sugar, differentiating up to 34.5% or performance of the same variety in different magnetic susceptibility classes and up to 38.5 % the performance of different varieties in similar magnetic susceptibility classes. Magnetic susceptibility shows as a tool that can be used to aid the allocation of varieties with greater assertiveness. As more responsive varieties can be allocated in the classes of higher magnetic susceptibility, while less responsive varieties can be allocated in the classes of lower magnetic susceptibility.

Keywords: productivity, quality, magnetic susceptibility, variety

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1 – Resultados de produtividade e qualidade de cana-de-açúcar e assinatura magnética.....	31
Tabela 2 – Estatística descritiva dos atributos estudados	35
Tabela 3 – Média dos atributos da planta nos 3 grupos identificados	42
Tabela 4 – Classe de SM por grupo identificado pela análise multivariada	43
Tabela 5 – Coeficientes de correlação linear das variáveis estudadas.....	45
Tabela 6 – Média dos atributos da planta e SM para cada variedade	53

LISTA DE FIGURAS

Página

- Figura 1** – (a) Mapa da localização da área de estudo, (b) Mapa geológico da área de estudo indicando o espigão (A-B) (IPT, 1981), (c) Pontos de amostragem estratificada, (d) Pontos de amostragem área total. 28
- Figura 2** – Expectativa do potencial de produtividade de cana-de-açúcar, em toneladas de colmo por hectare (TCH), dos ambientes de produção, pelo método de classificação do CTC e do IAC. 29
- Figura 3** – a) Mapa geológico da área de estudo (IPT, 1981), (b) Mapa pedológico da área de estudo – Lvd Latossolo Vermelho distrófico, Lvdf Latossolo Vermelho distroférico, RQo Neossolo Quartzarênico (CTC), (c) Mapa de ambientes de produção da área de estudo – C, D e E (CTC), (d) Mapa de suscetibilidade magnética da área de estudo ($10^{-6} \text{ m}^{-3} \text{ kg}^{-1}$). 30
- Figura 4** – Matriz de correlação entre os atributos do solo e da planta (SM1=suscetibilidade magnética 0,0-0,2m; SM2=suscetibilidade magnética 0,2-0,4m; Argila1=teor argila 0,0-0,2m; Argila 2=teor argila 0,2-0,4m; Areia1=teor areia 0,0-0,2m; Areia2=teor areia 0,2-0,4m; TCH=tonelada de cana por hectare; ATR= açúcar total recuperável; Pol = porcentagem em massa de sacarose aparente; Brix = porcentagem em massa de sólidos solúveis). 36
- Figura 5** – Variogramas simples dos atributos do solo e dos atributos da planta (TCH, ATR, Pol, Brix e Fibra via dados históricos de 9 safras) 37
- Figura 6** – Mapas de distribuição espacial para os atributos do solo 38
- Figura 7** – Mapas de distribuição espacial para os atributos da planta (TCH, ATR, Pol, Brix e Fibra) via dados históricos de 9 safras. 39
- Figura 8** – Mapas de distribuição espacial para os atributos da planta (TCH, ATR, Pol, Brix e Fibra) via dados de biometria. 40
- Figura 9** – Dendrograma da análise hierárquica de agrupamentos que mostra a formação de três grupos, de acordo com os atributos estudados, identificados como Grupo 1, Grupo 2 e Grupo 3. 41
- Figura 10** – Gráfico biplot do primeiro e segundo componentes principais do PCA com todas as observações avaliadas. SM1=suscetibilidade magnética 0,0-0,2m; SM2=suscetibilidade magnética 0,2-0,4m; Argila1=teor argila 0,0-0,2m; Argila 2=teor argila 0,2-0,4m; Areia1=teor areia 0,0-0,2m; Areia2=teor areia 0,2-0,4m; TCH=tonelada de cana por hectare; ATR= açúcar total recuperável; Pol = porcentagem em massa de sacarose aparente; Brix = porcentagem em massa de sólidos solúveis. Grupo1=produtividade baixa, Grupo2=produtividade intermediária, Grupo3=produtividade alta. 44

Figura 11 – Sobreposição dos 3 agrupamentos de atributos identificados no mapeamento da suscetibilidade magnética 0,0-0,2m da área de estudo. Grupo1=produtividade baixa, Grupo2=produtividade intermediária, Grupo3=produtividade alta. 46

Figura 12 – Resultados de biometria por amplitude magnética, na profundidade de 0,0-0,2m (TCH = tonelada de cana por hectare; ATR = açúcar total recuperável; Pol = porcentagem em massa de sacarose aparente; TAH=tonelada de açúcar por hectare). Sendo classe1=SM muito baixa, classe2=SM baixa, classe3=SM intermediária, classe4=SM alta, classe5=SM muito alta. 48

Figura 13 – Distribuição dos resultados de biometria por amplitude magnética, na profundidade de 0,0-0,2m, para TCH, ATR e Pol. Sendo classe1=azul=SM muito baixa, classe2=verde=SM baixa, classe3=amarela=SM intermediária, classe4=laranja=SM alta, classe5=vermelha=SM muito alta.....50

Figura 14 – Gráfico de contorno dos atributos TCH = tonelada de cana por hectare, ATR = açúcar total recuperável e SM = suscetibilidade magnética ($10^{-6} \text{ m}^{-3} \text{ kg}^{-1}$) ... 52

CAPÍTULO 1 – Considerações gerais

1.1 Introdução

A produção agrícola de cana-de-açúcar no Brasil alcançou o patamar de 575 milhões de toneladas na última safra de 2018/2019, sendo o maior produtor no mundo, seguido por Índia e Austrália. A cana-de-açúcar chegou no País no início da colonização portuguesa, sendo uma das primeiras culturas introduzidas com fins lucrativos. Atualmente, é cultivada no Centro-Sul e Norte-Nordeste, permitindo períodos de safra de abril a novembro e de setembro a abril, respectivamente.

A expansão da cultura para o centro-oeste e para outras regiões produtoras, nos últimos 20 anos, exigiu conhecimento técnico específico para plantio do material genético com maior potencial para o ambiente de produção em que está inserido, além do uso intensivo de corretivos e de fertilizantes naquelas que possuíam baixa fertilidade.

O solo é um ambiente heterogêneo sob interferência dos fatores bióticos e abióticos que o constituem, que podem ser monitorados com indicadores de qualidade preestabelecidos (Vidal-Torrado et al., 2005), possibilitando o estudo das ações que favoreçam sua sustentabilidade, direcionando as medidas a serem tomadas (Shukla et al., 2006).

A alocação varietal da cana-de-açúcar é a primeira decisão a ser tomada no plantio e a principal técnica para potencializar ou limitar a produtividade da área. A decisão é baseada nos atributos físicos, químicos e ambientais do solo e exige um conhecimento prévio do desenvolvimento dos materiais genéticos em diversas situações, e resposta dos mesmos a condições adversas, como, por exemplo, déficit hídrico. A falta de detalhamento do ambiente em que a cultura está sendo inserida pode provocar a alocação errônea da variedade de cana-de-açúcar, comprometendo o resultado pelos próximos 5 anos, no mínimo. Diante disso, quanto maior a precisão na caracterização da área de plantio, maior a oportunidade em ser assertivo na alocação do material genético e em maximizar o resultado.

Os avanços tecnológicos da agricultura permitem-nos observar a formação de zonas homogêneas do ponto de vista agrícola, com comportamentos similares à

adubação e à aplicação de defensivos, por exemplo, gerando uma oportunidade de otimização de recursos e redução do impacto ambiental, além do aumento da lucratividade. A produtividade agrícola varia espacialmente, e as técnicas geoestatísticas surgem para estudar essas variações, possibilitando a elaboração de mapas e o delineamento de áreas de manejo específico (Farias et al., 2002).

Nesse contexto, surge a suscetibilidade magnética do solo como ferramenta para a caracterização detalhada dos atributos que determinam o potencial de produtividade e de qualidade das culturas e auxilia a alocação de variedades de cana-de-açúcar, visto que ela expressa a interação dos processos edafoclimáticos do solo.

1.2 Revisão de Literatura

1.2.1 Melhoramento varietal de cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar doce que conhecemos pertence à espécie *Saccharum officinarum*, originária da Papua-Nova Guiné. É cultivada predominantemente em áreas subtropicais entre 15° e 30° de latitude, sendo produzida comercialmente em mais de 70 países e territórios no mundo, sendo a América do Sul a maior região de produção.

O primeiro programa de melhoramento genético de cana-de-açúcar no Brasil, para obtenção de novas variedades, foi o IAC (Instituto Agrônomo de Campinas), na década de 1930, seguido da instituição CB (Cana Brasil), localizada em Campos-RJ. Ao final das décadas de 1960 e 1970, foram criados os programas Planalsucar (Programa Nacional de Melhoramento da Cana-de-Açúcar), para as variedades RB, e a Copersucar (Cooperativa de Produtores de Cana-de-açúcar, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo), para as variedades SP. No final dos anos 1980, o Planalsucar foi incorporado pelas Universidades Federais, constituindo a Ridesa (Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético), e a Copersucar incorporada ao CTC (Centro de Tecnologia Canavieira), no final dos anos 1990.

Atualmente, os programas Ridesa, CTC e IAC são os principais desenvolvedores de novas tecnologias em variedades no País, híbridos do gênero *Saccharum*. No último censo varietal no Centro-Sul, realizado pelo IAC, foram levantadas mais de 500 variedades cultivadas, sendo as variedades precoces as mais plantadas (Gomes, 2019). Muitos países possuem programas bem-sucedidos de melhoramento com produção de variedades adaptadas às suas peculiaridades, sendo que variedades selecionadas em um país podem tornar-se variedades comerciais de êxito em outros. As variedades comerciais recebem uma identificação referente ao seu país de origem, como, por exemplo, Indonésia (POJ), Índia (CO), África do Sul (N), Austrália (Q, KQ), Brasil (IAC, SP, CV, CTC, RB, CB, PB), Argentina (NA), Filipinas (Phill), etc. (Castro, 2016).

O florescimento é considerado indesejável nos cultivos comerciais, mas é necessário para os programas de melhoramento de variedades. Reprodutores de

plantas usam ambientes controlados para simular o comprimento do dia e as condições de temperatura favoráveis para o florescimento, dando maior gama de potenciais parentais para novas variedades (Castro, 2016).

Nos programas de melhoramento da cana-de-açúcar, experimentos são acompanhados em diversas unidades produtoras e colhidos, em sua maioria, em três épocas distintas, com o intuito de contrastar o desempenho de novos materiais com aqueles utilizados em cultivos comerciais (Ferreira et al., 2005).

As condições de diminuição de temperatura e de precipitação são fundamentais para o processo de maturação da cana-de-açúcar (Deuber, 1988). No Sudeste do Brasil, o pico de maturação é atingido no mês de setembro. Dessa forma, utiliza-se o critério de “período útil de industrialização” (PUI) para caracterizar o período em que uma cana pode ser processada, em que 13% para Pol de cana são considerados o teor mínimo satisfatório para industrialização. Então, classificam-se as variedades de cana-de-açúcar como precoces, médias e tardias, em que as precoces atingem o pico de maturação no início da safra, as médias no meio e as tardias no final (Ribeiro et al., 1999).

As principais características desejáveis em uma variedade de cana-de-açúcar são: produtividade, rusticidade e resistência a pragas e doenças. Além dessas, procura-se obter alto teor de sacarose e teor médio de fibra, proporcionando condições importantes para uma exploração industrial em bases técnico-econômicas (Nunes Júnior, 1998). A cobrança de royalties é um fator de grande importância do ponto de vista financeiro, tendo em vista que o retorno em produtividade e em qualidade de matéria-prima deve suprir o investimento na tecnologia genética.

O desenvolvimento de variedades de cana-de-açúcar visa a obter materiais com maior resistência a pragas e doenças, e melhor adaptação a variações de clima, solos, técnicas de corte ou manejo. De acordo com Maule et al. (2001), a grande potencialidade de produtividade das cultivares de cana-de-açúcar acontece em função de suas características genéticas.

As variedades obtidas em programas de melhoramento locais ou introduzidas de outras regiões são avaliadas continuamente na experimentação para determinar seu comportamento e sua viabilidade em plantios comerciais. Dessa maneira, posicionam-se os novos materiais nas microrregiões adaptadas a fim de maximizar o

resultado agrícola e industrial do material. A liberação contínua de novos materiais genéticos pelos programas de melhoramento oferece a oportunidade de substituição da variedade a cada reforma do canavial, garantindo ao produtor de cana-de-açúcar ganhos em produtividade agrícola e industrial (Fontes et al., 1996).

A cultura da cana-de-açúcar é implantada em vários tipos de solo e sob influência de diversos climas, resultando em vários tipos de ambiente com os quais a planta interage (Dias, 1997). O conhecimento da interação genótipo x ambiente é fundamental no melhoramento genético devido à possibilidade de o melhor genótipo em um determinado ambiente não o ser em outro (Cruz e Regazzi, 1997). A interação genótipo x ambiente é uma das principais dificuldades na seleção e na recomendação de genótipos de qualquer programa de melhoramento, sendo a escolha de genótipos com alta produtividade, adaptabilidade e estabilidade uma das alternativas para minimizar os efeitos da interação genótipo x ambiente (Cruz e Carneiro, 2003; Zeni-Neto, 2008).

Segundo Bos e Galegari (1997), a interação genótipos por ambientes representa a resposta diferencial dos genótipos às mudanças dos ambientes, demonstrando a dependência entre os efeitos genéticos e ambientais. De acordo com Allard e Bradshaw (1964), estas respostas são classificadas em previsíveis e não previsíveis. As respostas previsíveis contemplam as características do clima (local), solo, fotoperíodo, época de plantio, densidade de plantio, níveis de adubação, etc. Enquanto as respostas imprevisíveis abrangem as flutuações do clima, como a quantidade de distribuição de chuvas e variações de temperatura.

Nos estudos que envolvem a avaliação de genótipos em diferentes ambientes, é comum a tentativa de classificação desses ambientes em grupos semelhantes, na tentativa de se reduzir ou de se minimizar a interação genótipo x ambiente dentro dos grupos (Oliveira et al., 2004).

Pesquisas para compreender a interação genótipo e ambiente acontecem há anos e em diversas regiões, como o realizado por Farias (1992) no Nordeste e os realizados por Landell et al. (1999) e Silva et al. (2002) no Estado de São Paulo. Landell et al. (1999) observaram que, para os atributos de tonelada de cana por hectare e tonelada de pol por hectare, a componente de variância clones x ambientes é elevada, comprovando o desempenho específico dos materiais genéticos em

resposta às mudanças de ambientes.

O principal objetivo das instituições de pesquisa em melhoramento genético é a seleção e a recomendação dos genótipos de elevado potencial produtivo. Entretanto, quando os genótipos são testados em diferentes ambientes, a classificação relativa entre eles pode não ser coincidente, devido à interação genótipo x ambiente, dificultando a identificação dos efetivamente superiores (Santos, 2008).

Segundo Sordi (2019), há uma tendência em encurtar os programas de melhoramento em que a variedade será liberada com pouca informação quanto à reação a doenças, herbicidas, pragas, etc. Há carência de informações científicas para embasar a escolha pelas usinas e produtores na alocação varietal correta, principalmente quanto à adaptação aos diferentes tipos de solo.

De acordo com Abranches e Bolonhezi (2011), uma boa estratégia tecnológica de empresas do setor sucroenergético é a associação com os programas de melhoramento genético de cana-de-açúcar, garantindo que materiais promissores já estejam sendo avaliados *in loco*, e conforme vão destacando-se, a inserção do material no mercado para plantio de áreas comerciais se dá de forma mais acelerada.

1.2.2 Planejamento varietal

A alocação varietal abrange uma análise conjunta das características agronômicas da planta e do ambiente em que será inserida, além dos aspectos operacionais. No contexto de uma usina produtora de cana-de-açúcar, o fator mais importante refere-se ao censo varietal desejado para a usina, em que pode aumentar ou diminuir algum material genético específico baseado em resultados prévios, além de limitar a área plantada de uma mesma variedade em 15%, como medida preventiva de segurança.

Além disso, outra premissa fundamental para a alocação da variedade de cana-de-açúcar baseia-se no ciclo de maturação do material genético (precoce, médio ou tardio) estar compatível com o manejo de colheita da fazenda, garantindo que a variedade será colhida no momento ideal para maximizar seu resultado. Antes da definição da variedade que será alocada, deve-se realizar um estudo estratégico de logística das frentes de colheita durante a safra, identificando qual o momento em que,

naquela propriedade, será feita a colheita, distribuindo a quantidade necessária de variedades precoces, médias e tardias ao longo da safra.

Outras variáveis são importantes para definir o manejo de colheita, dadas as tecnologias, como a do terceiro eixo, uma ferramenta desenvolvida pelo IAC e adotada por diversas usinas, que consiste em iniciar a colheita nas áreas de estágio de corte mais novos, como 1º e 2º cortes, e ir evoluindo na safra para os estágios de corte mais avançados, que possuem sistema radicular mais profundo. O objetivo é reduzir a exposição dos canaviais mais produtivos à deficiência hídrica de meio de safra e levar a idade média de colheita para mais de 12 meses, com ganhos potenciais em produtividade e acúmulo de sacarose.

Então, a partir da caracterização operacional de manejo da área e da maturação desejada, busca-se, nos materiais genéticos disponíveis, o mais adequado para atender às características físicas, químicas e ambientais do solo disponíveis da área para plantio.

A eficiência do planejamento agrícola, juntamente com o manejo adequado das variedades de cana-de-açúcar, maximiza os rendimentos da cultura e minimiza os custos de produção, permitindo o crescimento de 23% na produção de cana ($t\ ha^{-1}$) e a economia de até 9,8% no custo da produção de álcool (Barbosa, 2005; Liu et al., 2006).

As características genéticas de propagação da cana-de-açúcar variam entre as variedades sob influência das condições edafoclimáticas, apresentando diferentes características quanto à velocidade de emergência e de brotação das gemas (Castro, 2016).

Segundo Castro (2016), a profundidade do sistema radicular depende principalmente da variedade e das condições de umidade e das características físicas e químicas do solo. Quanto aos aspectos do colmo, as inúmeras variedades atuais, provenientes de trabalhos de melhoramento, contribuíram para aumentar a diversidade de formas, comprimentos, diâmetro e cores dos entrenós, assim como a diversidade das formas e tamanhos das gemas.

As variedades podem ser mais ou menos adaptadas à mecanização e possuir perfilhamento mais ou menos intenso. A qualidade industrial da cana-de-açúcar é maior em períodos mais secos devido ao estresse fisiológico ocasionado na planta

pela diminuição de umidade no solo; consequentemente, o processo de maturação e de acúmulo de açúcares no colmo é favorecido, elevando o teor de sacarose, principalmente na parte basal do colmo (Santos e Carlesso, 1998).

O material de origem dos solos determina atributos como a coloração, a distribuição do tamanho de partículas, o nível de saturação, a estrutura e a fertilidade do solo. No Estado de São Paulo, quase metade da área cultivada com cana-de-açúcar é constituída por Latossolos Vermelhos, desenvolvidos a partir de rochas ígneas básicas (solos com boa drenagem, com 40% a 60% de argila), e o segundo solo mais importante é o Latossolo Vermelho-Amarelo, derivado de arenitos (solos com boa drenagem, 15% a 30% de argila). Argissolo Vermelho-Amarelo arenoso é outro importante tipo de solo no estado (Castro, 2016).

Entre as ferramentas de caracterização do solo para o cultivo da planta de cana-de-açúcar, tem-se o conceito de ambiente de produção, que é definido em função das condições físicas, hídricas, morfológicas, químicas e mineralógicas dos solos, sendo a soma das interações desses atributos associados ao grau de declividade, onde os solos ocorrem na paisagem, e as condições climáticas (Prado, 2005). Cada variedade expressa seu potencial em função do ambiente de produção e, quando a recomendação ocorre de forma inadequada, traz consequências como a redução do número de cortes e a queda na produtividade (Scarpari, 2007). Dessa forma, o manejo varietal consiste em alocar a cultivar mais apta a determinado ambiente de produção, a fim de melhor explorar seu potencial produtivo (Silva, 2008).

No planejamento estratégico do plantio, a variedade é uma das principais decisões a serem tomadas. Em 1997, a Copersucar definiu os ambientes de produção de cana-de-açúcar baseado nas condições pedológicas (Cavalcante e Prado, 2010), em que a análise do potencial de produtividade da cana-de-açúcar se baseou no histórico de dez anos de informações do banco de dados agrônômicos do Centro de Tecnologia Canavieira (CTC); esses dados possibilitaram relacionar diferentes solos com as respectivas produtividades da cultura no Estado de São Paulo (Bertolani et al., 2015).

A análise dessas informações concluiu na definição das classes de potencial de produção dos solos para a cana-de-açúcar, representado pelas letras A, B, C, D e E (Joaquim et al., 1994). Os solos pertencentes à classe A (ambiente A), por exemplo,

têm o maior potencial para o desenvolvimento e rendimento da cultura da cana-de-açúcar; os de classe B (ambiente B) têm menor potencial que os da classe A; e assim sucessivamente, até a classe E (ambiente E), considerados os de menor potencial (Bertolani et al., 2015). Prado et al. (2002) fracionaram mais os ambientes considerando a disponibilidade hídrica, a CTC (Capacidade de Troca Catiônica) da camada arável, os atributos mesotrófico e mesoálico na camada subsuperficial e a espessura do horizonte A, além da profundidade do horizonte Bt.

Dessa forma, todos os programas de melhoramento de cana-de-açúcar (Ridesa, IAC e CTC) classificam as cultivares em função dos ambientes de produção.

É de grande importância o conhecimento dos ambientes de produção de cana-de-açúcar para adotar medidas tecnológicas de manejo que possibilitem a máxima expressão do potencial de produção do material, alocando as variedades corretamente em função do potencial genético e colhendo na época mais indicada para garantir sucesso da atividade (Cavalcante e Prado, 2010), com os custos operacionais reduzidos e a longevidade do canavial aumentada, quando se selecionam os solos favoráveis para a alocação do material genético (Prado, 2008).

1.2.3 Zonas específicas de manejo com base na suscetibilidade magnética

O solo é fundamental no suporte físico e de água e nutrientes para as plantas. O conhecimento dos fatores edáficos, ou seja, das características inerentes a cada solo, é importante para conhecer o potencial de produção agrícola (Lepsch, 1987).

A representação adequada da variabilidade espacial de uma área demanda custos elevados, tempo de coleta e análise devido à alta quantidade de pontos amostrados. A alternativa é utilizar ferramentas fáceis, rápidas e de baixo custo, seja no campo, seja no laboratório (Siqueira, 2013).

O uso da suscetibilidade magnética do solo tem viabilizado a caracterização da variabilidade espacial dos atributos do solo e apresenta grande potencial no delineamento de unidades de mapeamento com diferentes padrões de variabilidade nos solos tropicais devido à alta expressão dos óxidos de ferro (Grimley e Vepraskas, 2000; Camargo, 2013).

A magnitude da expressão magnética dos solos está ligada às propriedades magnéticas de minerais específicos (Coey, 1987). A magnetita presente na fração silte e areia fina, e a maghemita presente na fração argila são os principais minerais responsáveis pelo comportamento magnético do solo. Em menor expressão magnética, podem ser citadas a hematita e a goethita, presentes na fração argila dos solos (Mullins, 1977).

A atração magnética tem sido utilizada desde a década de 60 nos primeiros levantamentos de solo do Estado de São Paulo, para separar grupos de solos originados de rochas máficas daqueles originados de outras rochas (Resende et al., 1988).

A suscetibilidade magnética como expressão de alguns minerais está fortemente ligada aos atributos físicos, químicos e mineralógicos do solo. Assim, a suscetibilidade magnética possui grande potencial para auxiliar na definição dos compartimentos mais homogêneos (Curi, 1983; Santana, 1984; Craik, 1995; Siqueira et al., 2010b; Siqueira, 2013).

A assinatura magnética considera a facilidade com que um material se magnetiza na presença de um campo magnético, sendo afetada pelos fatores de formação do solo identificados como relevo, material de origem, clima e regime hídrico, influência antrópica e tempo (Verosub e Roberts, 1995; Fontes et al., 1996; White e Walden, 1997; Maher, 1998; Jong et al., 2000; Dearing et al., 2001; Hanesch, 2005). Pode ser expressa nas propriedades cristalográficas dos minerais presentes no solo, sendo considerada uma técnica alternativa de método indireto e promissora para o estudo quantitativo de óxidos de ferro (Schachtschabel et al., 1998).

Segundo White e Walden (1997), os atributos do solo podem apresentar dependência espacial na ordem de poucos metros a alguns quilômetros. Os fatores de formação do solo atuam durante os anos e sofrem alterações por fatores que atuam em escalas menores e em diferentes níveis de superposição de efeito (Goovaerts, 1997). A posição do terreno na paisagem, com declividade e forma do relevo, pode gerar rotas preferenciais para o fluxo de água, influenciando na variabilidade espacial dos atributos físicos e químicos do solo (Souza et al., 2001).

Ferramentas computacionais, como o modelo digital de elevação (MDE), a geoestatística, a análise multivariada e a integração destas ferramentas têm sido

utilizadas em ciências agrárias na identificação de áreas homogêneas (Sanchez et al., 2013). As formas de relevo, quando incorporadas às análises geoestatísticas e de modelagem matemática, aumentam a eficiência na construção de zonas específicas de manejo, conforme demonstrado por Sanchez et al. (2012) para aplicação de calcário, fósforo e potássio no solo.

A variabilidade espacial de atributos, visando a caracterizar áreas mais homogêneas, pode ser estudada por meio das ferramentas da geoestatística, fundamentada na teoria das variáveis regionalizadas, por meio do variograma, o qual expressa a dependência espacial entre as amostras (Vieira, 1997). Segundo Isaaks e Srivastava (1989), as análises estatísticas clássicas que consideram a independência entre as amostras, baseadas na média, apresentarão maior sucesso quando associadas com análises geoestatísticas.

O USDA-NRCS recomenda que, nos trabalhos de mapeamento, os corpos naturais de solo devem ser delineados no campo, sem preocupação imediata com classes taxonômicas (Ordem, Subordem, Grande Grupo, Supgrupo, Família e Série); inferindo-se que deve ser feita a identificação dos corpos naturais baseado nas classes de variabilidade dos atributos do solo e, posteriormente, nomear a área identificada. Nesse contexto, a suscetibilidade magnética pode ser útil para a identificação rápida dos referidos corpos naturais.

A coleta e a análise das amostras de solo são as etapas mais intensivas e onerosas para realizar o mapeamento das zonas específicas de manejo. Dessa forma, funções de pedotransferência baseiam-se em modelos matemáticos capazes de estimar valores de outros atributos relacionados ao solo analisado, diminuindo os gastos com análises laboratoriais (McBratney et al., 2002; Pollo, 2013). De acordo com Dearing et al. (1996), a suscetibilidade magnética é ideal para a realização de estudos que necessitem de uma grande quantidade de amostras, sem incrementos nos custos e no tempo de análise.

Entre os principais métodos utilizados atualmente, a condutividade eletromagnética e a resistividade elétrica são os métodos geofísicos mais utilizados; entretanto, as medições feitas por estas técnicas sofrem variações em função do teor de água no solo. Assim, alguns pesquisadores têm utilizado a suscetibilidade magnética na quantificação indireta de propriedades físicas, químicas e mineralógicas

do solo (Grimley e Vepraskas, 2000; Royall, 2001; Siqueira et al., 2010a). Seu uso vem destacando-se como um dos métodos mais utilizados para fins ambientais (Dearing et al., 1996) e possui diversas linhas de pesquisa para a identificação da poluição do solo (Lecoanet et al., 2001), a identificação de limites mais precisos entre diferentes compartimentos do relevo (Matias, 2010), o delineamento de áreas de solos hidromórficos (Grimley et al., 2004) e o delineamento de áreas de manejo específico para cana-de-açúcar (Marques Júnior, 2009). Porém, as pesquisas geofísicas em solos agrícolas no Brasil ainda são muito incipientes (Becegato e Ferreira, 2005)

Após o mapeamento da expressão da suscetibilidade magnética da área, podem-se identificar as zonas específicas de manejo, com seus respectivos potenciais de produtividade, permitindo a alocação da variedade de cana-de-açúcar mais adaptada para aquela zona específica e, conseqüentemente, maximizando o resultado. É comum ocorrerem dois ou mais tipos de solo numa mesma gleba ou quadra, podendo haver variações consideráveis nos atributos em função do tipo de solo, da declividade e da necessidade de nutrientes, denotando a importância da caracterização pedológica dos solos cultivados e a implantação do manejo específico (Prado, 2005; Campos et al., 2009).

Estudos demonstram que a suscetibilidade magnética pode ser usada na elaboração de mapas para fins de uso e de manejo específico do solo através do delineamento de unidades de mapeamento detalhadas, segundo Cortez et al. (2011) e Siqueira (2013). No trabalho de Peluco et al. (2013), eles concluíram que a suscetibilidade magnética pode ser usada em função de pedotransferência, na quantificação indireta das doses recomendadas e da capacidade de suporte do solo à aplicação de vinhaça; além das correlações significativas da suscetibilidade magnética com o teor de argila, CTC (capacidade de troca catiônica), capacidade de adsorção de fósforo e o teor de hematita encontrados por Siqueira et al. (2010a). Johnson e Richard (2005), ao estudarem solos cultivados com cana-de-açúcar por três anos, relataram alta correlação entre a variabilidade espacial dos atributos do solo e da cultura. Na cultura da laranja, Leão et al. (2004) demonstraram que há dependência espacial da qualidade dos frutos em relação às formas do relevo. Estudo realizado por Sanchez (2009) indicou uma possível correlação entre a distribuição e a

variação da produtividade do café com os atributos físicos, químicos e granulométricos do solo.

A planta atua como integradora da variabilidade dos atributos do solo, acompanhando a distribuição espacial e a variação de nutrientes no solo (Miller et al., 1988; Salviano et al., 1998). Dessa forma, o estudo detalhado da variação dos atributos do solo permite explorar ao máximo a área cultivada a fim de promover a melhor produtividade e lucratividade (Maule et al., 2001). Os mapas de variabilidade espacial dos atributos do solo baseiam o estabelecimento de práticas de manejo do solo e da cultura, visto que o comportamento da planta tende a acompanhar a distribuição espacial dos nutrientes no solo (Miller et al., 1988).

Estudos conduzidos por Siqueira (2013) concluíram que a densidade amostral mínima para Latossolos sob transição Serra Geral, Depósito Colúvio-Eluvionar e Depósito Aluvionar é de um ponto a cada 7 ha, garantindo a representatividade da variabilidade espacial do teor de argila; a suscetibilidade magnética pode ser utilizada para melhorar a estimativa de predição do teor de argila desses solos, reduzindo custos e tempo de amostragens convencionais. Burrough (1991) propõe que o conhecimento da variabilidade espacial seja utilizado na determinação da unidade de mapeamento e de planejamento amostral.

Os mapas de distribuição dos atributos do solo e os de características da cana-de-açúcar devem ser comparados a fim de promover maior eficiência nas práticas agrícolas e industriais (Johnson e Richard, 2005).

Matias et al. (2013) e Santos et al. (2011) concluíram que a suscetibilidade magnética é uma técnica de campo viável para auxiliar no detalhamento da variação dos atributos do solo e pode ser utilizada na identificação de áreas de manejo específico de forma rápida e econômica, em ambientes semelhantes. Becegato e Ferreira (2005) também identificaram limites entre classes de solo com o auxílio da suscetibilidade magnética. A identificação das áreas com maior ou menor homogeneidade possibilita o planejamento agrícola com maior eficiência (Campos et al., 2012).

1.3 Referências

Abranches JL, Bolonhezi AC (2011) Desenvolvimento inicial de variedades e clones de cana-de-açúcar em Latossolo Vermelho Distrófico, Aparecida do Taboado-MS. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias** 6:369-375.

Allard RW, Bradshaw AD (1964) Implications of genotype-environmental interactions in applied plant breeding. **Crop Science** 4:503-508.

Barbosa EA (2005) **Avaliação fitotécnica de cinco variedades de cana-de-açúcar para o município de Salinas**. Vitória da Conquista: UESB, 15 p.

Becegato VA, Ferreira FJF (2005) Gamaespectrometria, resistividade elétrica e suscetibilidade magnética de solos agrícolas no noroeste do Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geofísica** 23:371-405.

Bertolani FC, Joaquim AC, Donzelli JL (2015) Sistema de classificação edafoclimática para a cultura da cana-de-açúcar. In.: Silva FC, Freitas PL, Castro A, Barbieri V (Eds.) **Sistema de produção mecanizada da cana-de-açúcar integrada à produção de energia e alimentos**. Brasília: Embrapa, p. 363-373.

Bos I, Calegari P (1997) **Selection methods in plant breeding**. London: Chapman & Hall, 347 p.

Burrough PA (1991) Sampling designs for quantifying map unit composition. In.: Mausbach MJ, Wilding LP (Eds.) **Spatial variabilities of soils and landforms**. Madison: SSSA Special Publication, p. 89-125.

Camargo LA, Marques Jr J, Pereira GT, Alleoni LRF (2013) Spatial correlation between the composition of the clay fraction and contents of available phosphorus of an Oxisol at hillslope scale. **Catena** 100:100-106.

Campos MCC, Marques Jr J, Pereira GT, Souza ZM, Montanari R (2009) Planejamento agrícola e implantação de sistema de cultivo de cana-de-açúcar com auxílio de técnicas geoestatísticas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 13:297-304.

Campos MCC, Ribeiro MR, Souza Júnior VS, Ribeiro Filho MR, Almeida MC (2012) Relações solo-superfície geomórfica em uma topossequência várzea-terra firme na região de Humaitá (AM). **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 36:325-336.

Castro PRC (2016) **Fisiologia aplicada à cana-de-açúcar**. Piracicaba: STAB – Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil, 208 p.

Cavalcante EP, Prado H (2010) Ambientes de produção de cana-de-açúcar de latossolos da região de Araxá-MG. **Nucleus** 7:115-124.

Coey JMD (1987) Magnetic properties of iron in soil iron oxides and clay minerals. In.: Stucki JW, Goodman BA, Schwertmann U (Eds.) **Iron in soils and clay minerals**. Dordrecht: Reidel Publishing Corporation, p. 397-466.

Cortez LA, Marques Jr J, Peluco RG, Teixeira DB, Siqueira, DS (2011) Suscetibilidade magnética para identificação de áreas de manejo específico em citricultura. **Revista Energia na Agricultura** 26:60-79.

Craik D (1995) **Magnetism, principles and applications**. Hoboken: John Wiley and Sons, 468 p.

Cruz CD, Carneiro PCS (2003) **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: Editora UFV, 585 p.

Cruz, CD, Regazzi AJ (1997) **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: Editora UFV, 390 p.

Curi N (1983) **Lithosequence and toposequence of oxisols from Goiás and Minas Gerais, Brazil**. 158 f. Thesis (Ph.D. in Agronomy) – Purdue University, West Lafayette.

Dearing JA, Hay KL, Baban SMK, Huddleston AS, Wellington EMH, Loveland PJ (1996) Magnetic susceptibility of soil: an evaluation of conicting theories using a national data set. **Geophysical Journal International** 127:728-734.

Dearing JA, Livingstone IP, Bateman MD, White K (2001) Palaeoclimate records from OIS 8.0–5.4 recorded in loess-palaeosol sequences on the Matmata Plateau, southern Tunisia, based on mineral magnetism and new luminescence dating. **Quaternary International** 76-77:43-56.

Demattê JAM, Galdos MV, Guimarães R, Genú AM, Nanni MR, Zullo Jr J. (2007) Quantification of tropical soil attributes from ETM+/Landsat-7 data. **International Journal of Remote Sensing** 8:3813-3829.

Deuber R (1988) Maturação da cana-de-açúcar na região Sudeste do Brasil. In.: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA. **Anais...** Piracicaba: Copersucar, p. 33-40.

Dias FLF (1997) **Relação entre a produtividade, clima, solos e variedades de cana-de-açúcar, na Região Noroeste do Estado de São Paulo**. 64 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" / USP, Piracicaba.

Farias PRS, Barbosa JC, Vieira SR, Sánchez-Vila X, Ferraz LCCB (2002) Geostatistical analysis of the spatial distribution of *Rotylenchulus reniformis* on cotton cultivated in crop rotation. **Russian Journal of Nematology** 10:1-9.

Farias SO (1992) **Adaptabilidade e estabilidade de clones de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) para a produção de pol e de biomassa no Nordeste do Brasil**. 132 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

Ferreira A, Barbosa MHP, Cruz CD, Hoffmann HP, Vieira MAS, Bassinello AI, Silva MF (2005) Repetibilidade e número de colheitas para a seleção de clones de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 40:761-767.

Fontes MPF, Oliveira TS, Costa LM, Campos AAG, Gheller ACA, Garcia AAF, Mendes JM (1996) Variedades RB: comportamento de variedades comerciais e clones promissores na Região Norte do Estado de São Paulo, em três épocas de colheita. In.: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIRO E ALCOOLEIROS DO BRASIL. **Anais...** Maceió: STAB, p. 181-187.

Gomes C (2019) **IAC divulga dados do segundo censo nacional de variedades de cana-de-açúcar**. Disponível em: <<http://www.iac.sp.gov.br/noticiasdetalhes.php?id=1203>>. Acesso em: 26 jan. 2019.

Goovaerts P (1997) **Geostatistics for natural resources evaluation**. New York: Oxford University, 483 p.

Grimley DA, Arruda NK, Bramstedt MW (2004) Using magnetic susceptibility to facilitate more rapid, reproducible and precise delineation of hydric soils in the midwestern USA. **Catena** 58:183-213.

Grimley DA, Vepraskas MJ (2000) Magnetic susceptibility for use in delineating hydric soils. **Soil Science Society of America Journal** 64:2174-2180.

Hanesch M, Scholger R (2005) The influence of soil type on the magnetic susceptibility measured throughout soil profiles. **Geophysical Journal International** 161:50-56.

Isaaks EH, Srivastava RM (1989) **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University Press, 561 p.

Joaquim AC, Bellinaso IF, Donzelli JL, Quadros AC, Barata MQF (1994) Potencial e manejo de solos cultivados com cana-de-açúcar. In: SEMINÁRIO DA TECNOLOGIA AGRONÔMICA. **Anais...** Piracicaba: Centro de Tecnologia Copersucar, p. 1-10.

Johnson RM, Richard EP (2005) Sugarcane yield, sugarcane quality, and soil variability in Louisiana. **Agronomy Journal** 97:760-771.

Jong E, Pennock DJ, Nestor PA (2000) Magnetic susceptibility of soils in different slope positions in Saskatchewan, Canada. **Catena** 40:291-305.

Landell MGA, Alvarez R, Zimback L, Campana MP, Sila MA, Pereira JCVNA, Perecin D, Gallo PB, Martins ALM, Kanthack A, Figueiredo P, Vasconcelos CM (1999) Avaliação final de clones IAC de cana-de-açúcar da série 1982, em Latossolo Roxo da Região de Ribeirão Preto. **Bragantia** 58:1-13.

Leão GAL, Marques Jr J, Pereira GT (2004) **Relação entre atributos de uma vertente com Latossolos e qualidade de frutos cítricos**. 119 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Unesp, Jaboticabal.

Lecoanet H, L'Évêque F, Ambrosi JP (2001) Magnetic properties of saltmarsh soils contaminated by iron industry emissions (southeast France). **Journal of Applied Geophysics** 48:67-81.

Lepsch IF (1987) Influência dos fatores edáficos na produção. In: Castro PRC, Ferreira SO, Yamada T. (Coords.) **Ecofisiologia da produção**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, p. 83-98.

Liu TL, Juang KW, Lee DY (2006) Interpolating soil properties using kriging combined with categorical information of soil maps. **Soil Science Society of America Journal** 70:1200-1209.

Maher BA (1998) Magnetic properties of modern soils and Quaternary loessic paleosols paleoclimatic implications. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology** 137:25-54.

Marques Júnior J (2009). **Caracterização de áreas de manejo específico no contexto das relações solo-relevo**. 113 f. Tese (Livre-Docência) – Unesp, Jaboticabal.

Matias SSR (2010) **Suscetibilidade magnética e sua associação com atributos do solo e do relevo em uma topossequência de latossolos**. 111 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Unesp, Jaboticabal.

Matias SSR, Marques Jr J, Siqueira DS, Pereira GT (2013) Modelos de paisagem e susceptibilidade magnética na identificação e caracterização do solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical** 43:93-103.

Maule RF, Mazza JA, Martha Jr GB (2001) Produtividade agrícola de cultivares de cana-de-açúcar em diferentes solos e épocas de colheita. **Scientia Agricola** 58:295-301.

McBratney A, Mynasny B, Stephen R, Cattle R, Willem V (2002) From pedotransfer functions to soil inference systems. **Geoderma** 109:41-73.

Miller MP, Singer MJ, Nielsen DR (1988) Spatial variability of wheat yield and soil properties on complex hills. **Soil Science Society of America Journal** 52:1133-1141.

Mullins BA (1977) Magnetic susceptibility of the soil and its significance in soil science – a review. **Journal of Soil Science** 28:223-246.

Nunes Junior D, Pinto RSA, Kil RA (1998) **Indicadores de desempenho da agroindústria canavieira**. Ribeirão Preto: Instituto de Desenvolvimento Agroindustrial, 119 p.

Oliveira MAS, Hamawaki OT, Oliveira Neto JO, Penna JCV, Juliatti FC, Souza SA (2004) Estabilidade fenotípica de cultivares de soja no Brasil central. **Bioscience Journal** 20:9-19.

Peluco RG, Marques Jr J, Siqueira DS, Pereira GT (2013) Magnetic susceptibility in the prediction of soil attributes in two sugarcane harvesting management systems. **Engenharia Agrícola** 33:1134-1143.

Prado H (2005) **Ambientes de produção de cana-de-açúcar na Região Centro-Sul do Brasil**. Piracicaba: Encarte do Informações Agronômicas, 110 p.

Prado H, Landell MGA, Rossetto R (2002) A importância do conhecimento pedológico nos ambientes de produção de cana-de-açúcar. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DE SOLO E ÁGUA, **Anais...** Cuiabá: SBCS, 1 CD-ROM.

Prado H, Júnior ALP, Garcia JC, Moraes JFL, Carvalho JP, Donzeli PL (2008) Solos e ambientes de produção. In: Dinardo-Miranda LL, Vasconcelos ACM, Landell MGA (Eds.) **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônomo, p. 179-204.

Resende M, Santana DP, Rezende SB (1988) Susceptibilidade magnética em latossolo do Sudeste e Sul do Brasil. In: REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO DE SOLOS E INTERPRETAÇÃO DE APTIDÃO AGRÍCOLA. **Anais...** Rio de Janeiro: Embrapa-SNLCS/SBCS, p. 233-258.

Ribeiro CAF, Blumer SAG, Horii J (1999) **Tecnologia do açúcar**. Fundamentos de Tecnologia Sucroalcooleira. Piracicaba: ESALQ, 33 p.

Royall D (2001) Use of mineral magnetic measurements to investigate soil erosion and sediment delivery in a small agricultural catchment in limestone terrain. **Catena** 46:15-34.

Salviano AAC, Vieira SR, Sparovek G (1998) Variabilidade espacial de atributos de solo e de *Crotalaria juncea* L. em área severamente erodida. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 22:115-122.

Sanchez MGB (2009) **Relação solo relevo em áreas sob cultivo de café no sudoeste de Minas**. 90 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Unesp, Jaboticabal.

Sanchez MGB, Marques Jr J, Siqueira DS, Camargo LA, Pereira GT (2013) Delineation of specific management areas for coffee cultivation based on the soil–relief relationship and numerical classification. **Precision Agriculture** 14:201-214.

Sanchez RB, Marques Jr J, Pereira GT, Baracat Nero J, Siqueira DS, Souza ZM (2012) Mapeamento das formas do relevo para estimativa de custos de fertilização em cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola** 32:280-292.

Santana DP (1984) **Soil formation in a toposequence of oxisols from Patos de Minas Region, Minas Gerais State, Brazil**. 129 f. Thesis (Ph.D. in Agronomy) – Purdue University, West Lafayette.

Santos ACA (2008) **Avaliação de genótipos de cana-de-açúcar para as condições edafoclimáticas de Aparecida do Tabuado – MS**. 90 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Unesp, Ilha Solteira.

Santos HL, Marques Jr J, Matias SSR, Siqueira DS, Pereira GT (2011) Suscetibilidade magnética na identificação de compartimentos da paisagem em uma vertente. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias** 6:710-716.

Santos RF, Carlesso R (1998) Déficit hídrico e os processos morfológicos e Fisiológicos das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 2:287-294.

Scarpari MS (2007) **PREDPOL: um modelo de previsão da maturação da cana-de-açúcar visando planejamento otimizado**. 120 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" / USP, Piracicaba.

Schachtschabel P, Blume HP, Brümmer G, Hartge KH, Schwertmann U (1998) **Lehrbuch der bodenkunde**. Stuttgart: Ferdinand Enke Verlag, p. 494.

Shukla MK, Lal R, Ebinger M (2006) Determining soil quality indicators by factor analysis. **Soil & Tillage Research** 87:194-204.

Silva MA (2008) Interação genótipo x ambiente e estabilidade fenotípica de cana-de-açúcar em ciclo de cana de ano. **Bragantia** 67:109-117.

Silva MA, Landell MGA, Gonçalves PS, Martins ALM (2002) Yield components in sugarcane families at four locations in the state of São Paulo, Brazil. **Crop Breeding and Applied Biotechnology** 2:97-106.

Siqueira DS (2013) **Mapeamento de atributos e planejamento amostral para latossolos utilizando suscetibilidade magnética, cor e relação solo-paisagem**. 113 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Unesp, Jaboticabal.

Siqueira DS, Marques Jr J, Matias SSR, Barrón V, Torrent J, Baffa O, Oliveira LC (2010a) Correlation of properties of Brazilian Haplustalfs with magnetic susceptibility measurements. **Soil, Use and Management** 26:425-431.

Siqueira DS, Marques Jr J, Pereira GT. (2010b) The use of landforms to predict the variability of soil and orange attributes. **Geoderma** 155:55-66.

Sordi RA (2019) **Manejo integrado de pragas e doenças**. Disponível em: <<https://sucroenergetico.revistaopinioes.com.br/revista/detalhes/2-manejo-integrado-de-pragas-e-doencas/>>. Acesso em: 26 jan. 2019.

Souza ZM, Silva MLS, Guimarães GL, Campos DTS, Carvalho MP, Pereira GT (2001) Variabilidade espacial de atributos físicos em um Latossolo Vermelho distrófico sob semeadura direta em Selvíria (MS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 25:699-707.

Verosub KL, Roberts AP (1995) Environmental magnetism: past, present and future. **Journal of Geophysical Research** 100:2175-2192.

Vidal-Torrado P, Lepsch IF, Castro SS (2005) Conceitos e aplicações da relações pedologia-geomorfologia em regiões tropicais úmidas. In.: Vidal-Torrado P, Alleoni LRF, Cooper M, Silva AP, Cardoso GJ (Eds.) **Tópicos em ciências do solo**. Viçosa: UFV, p. 145-192.

Vieira SR (1997) Variabilidade espacial de argila, silte e atributos químicos em uma parcela experimental de um Latossolo Roxo de Campinas (SP). **Bragantia** 56:181-190.

White K, Walden J (1997) The rate of iron oxide enrichment in arid zone alluvial fan soils, Tunisian southern atlas, measured by mineral magnetic techniques. **Catena** 30:215-227.

Zeni-Neto H, Oliveira RA, Daros E, Bessalho-Filho JC, Zambon JLC, Ido OT, Weber H (2008) Seleção para produtividade, estabilidade e adaptabilidade de clone de cana-de-açúcar em três ambientes no Estado do Paraná via modelos mistos. **Scientia Agraria** 9:425-430.

CAPÍTULO 2 – Planejamento varietal de cana-de-açúcar utilizando suscetibilidade magnética do solo

RESUMO – A falta de detalhamento nas informações sobre os atributos do solo, nas áreas cultivadas é um fator limitante para aumentar a assertividade na alocação de variedades de cana-de-açúcar em diversos ambientes edafoclimáticos. Atualmente, o conceito de ambientes de produção é amplamente utilizado para classificar o potencial de produtividade dos solos, e a suscetibilidade magnética surge como uma ferramenta importante para mapear áreas de forma ultradetalhada e com baixo custo. Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo avaliar a utilização da suscetibilidade magnética como ferramenta na identificação de áreas com diferentes potenciais para produtividade e qualidade de cana-de-açúcar e sua utilização na alocação de variedades. Foram amostrados 445 ha com grid de 1 ponto a cada 5 hectares e, seguindo o espigão da paisagem, foram determinados 14 pontos para amostragem estratificada. Analisaram-se a granulometria e a suscetibilidade magnética de amostras, nas profundidades de 0,0-0,2 m e 0,2-0,4 m. Os dados de produtividade e de qualidade da matéria-prima foram obtidos via banco de dados de 9 safras e biometria realizada na safra de 2018/2019. Como resultados, observou-se alta correlação dos teores de argila e de areia com a expressão magnética. Pela análise multivariada dos resultados históricos, observou-se a organização de 3 grupos com diferentes potenciais de produtividade e de qualidade, diferenciando em até 17,28TCH o resultado entre o grupo com maior e menor potencial, baseado na suscetibilidade magnética do solo. Para os resultados de biometria, as classes de maior suscetibilidade magnética apresentaram a maior produtividade e o menor acúmulo de açúcar. Analisando o desempenho de variedades, a suscetibilidade magnética foi eficaz na identificação de áreas com diferentes potenciais para produtividade e qualidade de cana-de-açúcar, diferenciando em até 34,5% o desempenho da mesma variedade em classes de suscetibilidade magnética diferentes e em até 38,5% o desempenho de variedades diferentes em classes de suscetibilidade magnética similares. A suscetibilidade magnética apresentou-se como uma ferramenta que pode ser utilizada para auxiliar a alocação de variedades com maior assertividade. As variedades mais responsivas podem ser alocadas nas classes de maior suscetibilidade magnética, enquanto as variedades menos responsivas podem ser alocadas nas classes de menor suscetibilidade magnética.

Palavras-chave: produtividade, qualidade, suscetibilidade magnética, variedade

Varietal planning of sugarcane using soil magnetic susceptibility

ABSTRACT – The lack of detail in the information on soil attributes in cultivated areas is a limiting factor to increase assertiveness in the allocation of sugarcane varieties in various edaphoclimatic environments. Nowadays, the concept of production environments is used to classify soil execution potential and a magnetic increase in susceptibility as an important tool for mapping ultra-detailed and low cost areas. In this context, this work aims to evaluate magnetic susceptibility, how to use tools to identify areas with different levels of use and quality of sugarcane and its use in the allocation of varieties. 445 ha were sampled with 1 point grid every 5 hectares and, following the understanding of the landscape, 14 points were selected for stratified sampling. Particle size and magnetic susceptibility of dimensions at depths of 0.0-0.2 m and 0.2-0.4 m were analyzed. Test data and raw material quality data were obtained through a 9-crop database and biometrics performed in the 2018/2019 crop. As a result, high correlation of clay and sand content with magnetic expression. By multivariate analysis of historical results, it is possible to organize 3 groups with different levels of use and quality, differentiating up to 17.28TCH or the result between the group with higher and lower potential, based on soil magnetic susceptibility. For biometrics results, as the classes of higher magnetic susceptibility observed in the largest difference and lowest sugar accumulation. Analyzing variety performance, magnetic susceptibility was effective in identifying areas with different levels of sugar use and quality in sugar, differentiating up to 34.5% or performance of the same variety in different magnetic susceptibility classes and up to 38.5 % the performance of different varieties in similar magnetic susceptibility classes. Magnetic susceptibility shows as a tool that can be used to aid the allocation of varieties with greater assertiveness. As more responsive varieties can be allocated in the classes of higher magnetic susceptibility, while less responsive varieties can be allocated in the classes of lower magnetic susceptibility.

Keywords: productivity, quality, magnetic susceptibility, variety

2.1 Introdução

A influência da variabilidade dos atributos dos solos é notória na produção agrícola e busca-se adequar o manejo para aumento de produtividade. Para compreender a interação dos solos com a produtividade agrícola, devem-se considerar os atributos físicos, químicos e biológicos dos mesmos, no contexto de sua inserção no relevo e na paisagem. Neste contexto, o mapeamento das zonas específicas de manejo é importante para a melhor alocação de variedades.

Avanços em melhoramento genético permitem o desenvolvimento de variedades com alto potencial para a produtividade e a qualidade, sendo o resultado do material genético diretamente relacionado a sua correta alocação nos ambientes edafoclimáticos. Para selecionar a variedade correta para potencializar os resultados de produção em uma fazenda, consideram-se o ciclo de maturação da mesma, a fertilidade e as características físicas do solo, a altitude, o ciclo pluviométrico, a capacidade de retenção de água, entre outros fatores. Segundo Cesar et al. (1987), os principais fatores que interferem na produção e na maturação de cana-de-açúcar são: a interação edafoclimática, o manejo da cultura e a cultivar escolhida.

O Brasil é considerado o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, considerada a planta com o maior potencial para produção de matéria seca e energia por unidade de área em um único corte por ano, com altos investimentos em melhoria genética, advindo de instituições de pesquisas nacionais (Boin, 1985).

O detalhamento na classificação dos solos permite maior acurácia na alocação das variedades, visto que apresentam diferentes desenvolvimentos conforme pequenas variações edafoclimáticas.

De acordo com Joaquim et al. (1994), ambiente de produção é definido como a junção de uma unidade de mapeamento de solo com o cultivo de cana-de-açúcar num dado estágio de corte sob um determinado regime climático, no qual a planta expressa seu resultado em produtividade. Maule et al. (2001) e Lepsch (1987) definem-no como um espaço físico mapeado com base nas características edafoclimáticas para a expressão do potencial genético da cultura. No Brasil, há dois principais métodos de classificação desenvolvidos pelo CTC e IAC. De acordo com Abranches e Bolonhezi (2011), o desenvolvimento da cana-de-açúcar num determinado ambiente de

produção expressa-se pela rapidez de brotação, perfilhamento e crescimento inicial dos colmos, podendo-se inferir que, na maioria dos casos, quanto maior for a velocidade de ocupação do terreno pelas plantas, mais adaptadas às condições edafoclimáticas locais elas são.

A geração de mapas temáticos de ambientes de produção é baseada nos levantamentos de solos (taxonômicos) com finalidade específica de uso, visando à locação de variedades e ao manejo da cana-de-açúcar, não considerando a variabilidade dos atributos do solo em escala mais detalhada. No Brasil, os levantamentos realizados pelo IAC (1983), na escala 1:20.000, foram os mais avançados em registrar as variabilidades dos atributos do solo, contudo Berg e Oliveira (2000) acreditam que esse método não é suficiente para registrar a variabilidade dos atributos. Estudos mostram que, em uma mesma área, a variabilidade dos atributos do solo é mínima, próximo à homogeneidade (Siqueira et al., 2010), possibilitando a identificação e o mapeamento de áreas de manejo específico e constituindo uma ferramenta importante para a agricultura de precisão.

Estudos feitos por Siqueira (2013) identificaram o potencial de refinamento dos mapas técnicos de ambientes de produção através da suscetibilidade magnética, e baseado nas unidades delineadas, a possibilidade do melhor planejamento para alocação de variedades de cana-de-açúcar.

Porém, estudos sobre a variabilidade espacial necessitam de grande número de amostras, elevando o custo e o tempo para coleta de campo e análises laboratoriais, além do impacto ambiental provocado pela utilização dos reagentes (Demattê et al., 2007; Siqueira, 2010).

De acordo com Franzen et al. (1998), a amostragem estratificada só é eficaz quando se conhecem a variabilidade geológica, a forma da paisagem e o tipo de solo de cada compartimento.

Diante disso, a suscetibilidade magnética, definida como o grau de magnetização de um material em resposta a um campo magnético aplicado, é uma importante ferramenta para auxiliar na definição de diferentes compartimentos para amostragem estratificada e para o mapeamento do potencial em produtividade e em qualidade da cana-de-açúcar (Craik, 1995; Marques Júnior, 2009).

A suscetibilidade magnética permite a geração de mapas versáteis e

ultradetalhados a baixo custo para identificar as regiões com maior potencial de produtividade e qualidade da cana-de-açúcar. Dessa forma, tem-se utilizado a suscetibilidade magnética para quantificação indireta de atributos físicos, químicos e principalmente mineralógicos do solo, dada a demanda de análises laboratoriais e interpretações complexas exigidas por esses (Grimley e Vepraskas, 2000).

A caracterização da variabilidade espacial dos solos, por meio de técnicas de geoestatística, permite entender os diferentes comportamentos dos atributos dos solos em diferentes segmentos da paisagem. Entretanto, o custo da coleta e da análise das amostras a fim de caracterizar a variabilidade espacial é um fator limitante em estudos de reconhecimento e de mapeamento de locais específicos de manejo (Webster e Oliver, 1990).

O atributo da suscetibilidade magnética foi utilizado nos primeiros estudos de caracterização qualitativa dos solos do Estado de São Paulo (Resende et al., 1988) e recentemente para as culturas de cana-de-açúcar, café e laranja (Siqueira, 2010; Cortez et al., 2011; Pollo, 2013; Sanchez Neto, 2015). A suscetibilidade magnética expressa os processos edafoclimáticos, sendo que os minerais oxídicos são afetados pelo clima; por exemplo, a hematita, em condições de altas temperaturas e baixa umidade, e a goethita, em condições de baixas temperaturas e alta umidade.

Sanchez Neto (2015) propôs, baseado na relação de causa e efeito entre geologia, geomorfologia, solo e resposta de culturas agrícolas, relacionar as formas de paisagem e a assinatura magnética com recomendação de variedades.

Diante disso, a proposta do trabalho é avaliar a utilização da suscetibilidade magnética como ferramenta na identificação de áreas com diferentes potenciais para produtividade e qualidade de cana-de-açúcar e sua utilização na alocação de variedades.

2.2 Material e Métodos

2.2.1 Localização e caracterização da área

O estudo foi realizado no município de Luís Antônio, no Estado de São Paulo, em uma área sob cultivo de cana-de-açúcar, por mais de nove anos, em sistema de cultivo mecanizado. Está localizada nas coordenadas geográficas $-21^{\circ}34'34,69''$ de latitude sul e $-47^{\circ}40'10,41''$ de longitude oeste. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo megatérmico, tropical com estação seca de inverno (Aw), e precipitação média de 1.400 mm com chuvas concentradas no período de novembro a fevereiro. Esta área está inserida na província geomorfológica do Planalto Ocidental Paulista, próxima ao limite das Cuestas Basálticas, no divisor litoestratigráfico arenito-basáltico.

Diversos protocolos agrícolas e ambientais foram desenvolvidos no Brasil a fim de mapear os contrastes mineralógicos, magnéticos e espectrais entre diferentes áreas de formação geológica. No Estado de São Paulo, estudaram-se diferentes regiões sob cultivo de cana-de-açúcar com as formações geológicas do Arenito Formação Vale do Rio do Peixe, Basalto Formação Serra Geral, Depósito Aluvionar e Colúvio Aluvionar, com seus respectivos potenciais em produtividade e em qualidade (Siqueira, 2010; Siqueira, 2013; Sanchez, 2015).

Na área do experimento, foram verificadas três formações geológicas, sendo elas: arenitos da Formação Botucatu, basaltos da Formação Serra Geral, ambos do Grupo São Bento, e Depósito Colúvio Aluvionar (Figura 1). A Formação Botucatu é constituída de arenitos rosados e avermelhados, e arenitos conglomeráticos, com formação eólica e deposição de maneira uniforme em termos de energia; enquanto a Formação Serra Geral é representada por basaltos e diabásios (Azevedo et al., 1981). Na base do arenito Botucatu, geralmente ocorre uma camada de arenito conglomerático (Soares, 1973).

As características de maturidade mineralógica dos quartzo-arenitos e subarcóseos da Formação Botucatu indicam que os materiais deste arenito são derivados de áreas de relevo pouco acentuado, com transporte relativamente prolongado e fortemente retrabalhado. As partículas sofreram forte ação abrasiva

eólica durante o transporte e a deposição, de forma que os minerais de baixa dureza foram eliminados, permanecendo somente os minerais mais duros, como quartzo, microclínio, turmalina, estauroлита, magnetita e ilmenita, granada, epídoto e zircão (Wu e Ano-Chang, 1992).

Os solos da área do experimento foram classificados pelo CTC (Centro de Tecnologia Canavieira) como: Neossolo Quartzarênico Órtico (RQo); Latossolo Vermelho distrófico, textura argilosa (LVd1); Latossolo Vermelho distroférico, textura argilosa (LVdf1); Latossolo Vermelho distrófico, textura média (LVd3); Latossolo Vermelho distrófico, textura média ou média argilosa (LVd2); Latossolo Vermelho distrófico, textura arenosa/média (LVd4) e Latossolo Vermelho distroférico, textura argilosa (LVdf1) (Figura 3).

2.2.2 Planejamento amostral estratificado

A área de estudo recebe influência das variáveis ambientais geológicas e de geomorfologia (paisagem), permitindo realizar amostragens estratificadas em locais estratégicos, usando um número menor de amostras e garantindo a representatividade da área. Nas regiões de transição geológica entre Basalto e Depósito Colúvio Aluvionar, o grid para planejamento amostral pode ser de até 1 ponto a cada 7 ha (Siqueira, 2013).

Para a realização das análises granulométricas e das medições da suscetibilidade magnética, foram coletados 14 pontos nas profundidades de 0-0,2 e 0,2-0,4 m na amostragem estratificada, seguindo o espigão da paisagem ao longo da área cultivada, de maneira a obter amostras nas diferentes classes de solo. Também foram coletados 88 pontos nas profundidades de 0-0,2 e 0,2-0,4 m para as análises granulométricas e da suscetibilidade magnética, em uma área experimental de 445 ha, conforme apresentado na Figura 1.

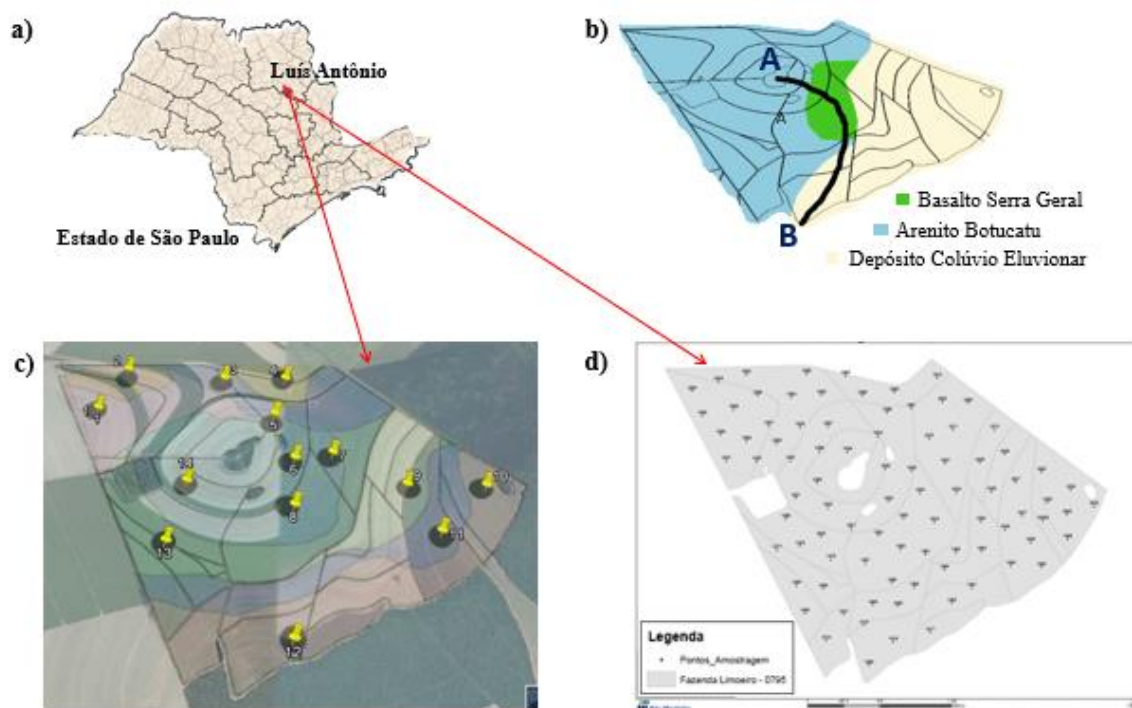


Figura 1. (a) Mapa da localização da área de estudo, (b) Mapa geológico da área de estudo indicando o espigão (A-B) (IPT, 1981), (c) Pontos de amostragem estratificada, (d) Pontos de amostragem área total.

2.2.3 Análises de solo e planta

A análise granulométrica do solo foi determinada pelo método da pipeta, utilizando uma solução de NaOH 0,1 mol L⁻¹ como dispersante químico e agitação mecânica em aparato de baixa rotação, por 16 horas, seguindo metodologia preconizada pela Embrapa (2017).

A suscetibilidade magnética (SM If) foi determinada na TFSA (terra fina seca ao ar), no laboratório, utilizando equipamento Bartington MS2 acoplado ao sensor Bartington MS2B. A avaliação foi feita em baixa frequência (If: 0,47 kHz) (Dearing, 1994; Costa et al., 1999). Segundo Bartington (2013), as medições de dupla frequência (alta – 4,7 kHz e baixa) devem ser utilizadas em estudo de caráter qualitativo para indicar a presença de minerais magnéticos de domínio simples e múltiplos. No caso de única leitura, para obtenção de resultados mais precisos, é indicado o uso da baixa frequência.

Os dados históricos de produtividade e de qualidade foram obtidos via banco de dados da Usina São Martinho, referente a 9 anos/safra. Para a obtenção dos resultados de produtividade nos pontos da amostragem estratificada, utilizou-se a metodologia de biometria. Segundo Landell e Silva (1995), a produtividade agrícola pode ser estimada por parâmetros biométricos, como diâmetro e altura dos colmos, o número de colmos por metro linear e a densidade do colmo. Para isso, coletou-se a planta de cana-de-açúcar em cada um dos 11 pontos determinados pela amostragem estratificada, em 3 repetições de dois metros cada, totalizando 33 coletas de planta; nestas plantas de cana-de-açúcar, realizou-se a contagem dos perfilhos e fizeram-se a limpeza e a pesagem do material. Segundo Stupiello (1992), a análise tecnológica que mede a qualidade da matéria-prima reflete o desempenho das operações de extração do caldo, a fermentação e a destilação, para obtenção de altos rendimentos e qualidade do produto final (açúcar e etanol). Assim, coletaram-se 10 colmos por repetição de 2 metros, totalizando 33 feixes, que foram direcionados ao laboratório industrial.

Visando ao melhor resultado em produtividade e qualidade da matéria-prima, as variedades possuem recomendação para alocação em ambientes de produção determinados. Os métodos de classificação de ambientes de produção utilizados no Brasil (Figura 2) são do programa CTC, com produtividade média de 4 cortes (Donzelli, 2007) e do IAC, referente à segunda aproximação dos ambientes de produção na região Centro-Sul, com produtividade média de 5 cortes (Prado, 2005).

Ambiente	Potencial de Produtividade	TCH (t cana/ha/) (média de 4 cortes)
A	Alto	≥ 95
B	Médio/alto	90 - 95
C	Médio	85 - 90
D	Médio/baixo	80 - 85
E	Baixo	<80

Ambiente	Produtividade (TCH)
A1	>100
A2	96 - 100
B1	92 - 96
B2	88 - 92
C1	84 - 88
C2	80 - 84
D1	76 - 80
D2	72 - 76
E1	68 - 72
E2	<68

Figura 2. Expectativa do potencial de produtividade de cana-de-açúcar, em toneladas de colmo por hectare (TCH), dos ambientes de produção, pelo método de classificação do CTC e do IAC.

De acordo com o CTC (Centro de Tecnologia Canaveira), a área de estudo foi classificada nos ambientes de produção C, D e E. A Figura 3 apresenta o mapa da área de estudo: geológico, pedológico, ambiente de produção (conforme classificação CTC) e suscetibilidade magnética a 0,0-0,2m de profundidade.

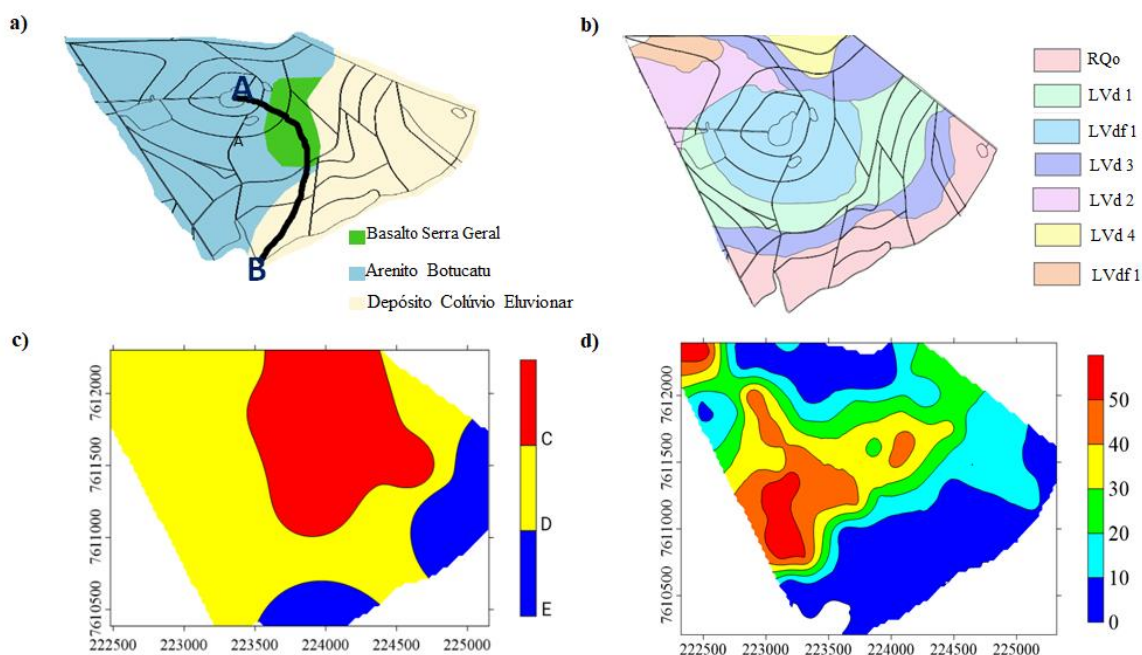


Figura 3. a) Mapa geológico da área de estudo (IPT, 1981), (b) Mapa pedológico da área de estudo – Lvd Latossolo Vermelho distrófico, LVdf Latossolo Vermelho distroférico, RQo Neossolo Quartzarênico (CTC), (c) Mapa de ambientes de produção da área de estudo - C, D e E (CTC), (d) Mapa de suscetibilidade magnética da área de estudo ($10^{-6} \text{ m}^{-3} \text{ kg}^{-1}$).

A Tabela 1 descreve resultados de produtividade e de qualidade com suscetibilidade magnética, obtidos em trabalhos realizados com cana-de-açúcar nos últimos anos, comparados à área de estudo.

Tabela 1. Resultados de produtividade e qualidade de cana-de-açúcar e assinatura magnética.

	Geologia	SM	TCH	Pol	ATR
Siqueira, 2010	Arenito Bauru trans. Basalto Serra Geral	0,6	109,0	14,4	-
	Arenito Bauru trans. Basalto Serra Geral	2,1	120,0	14,9	-
Siqueira, 2013	Basalto Serra Geral	50,6	85,2	-	92,8
	Depósito Colúvio Eluvionar	41,1	86,0	-	90,3
	Depósito Aluvionar	13,1	78,7	-	85,9
Sanchez, 2015	Arenito Bauru	1,5	149,4	13,9	-
	Arenito Bauru	3,5	125,9	14,0	-
Área de estudo	Basalto Serra Geral	29,2	84,6	17,8	150,8
	Arenito Botucatu	25,4	102,4	16,9	143,8
	Depósito Colúvio Eluvionar	6,9	68,7	17,2	145,3

SM = suscetibilidade magnética; TCH = tonelada de cana por hectare; Pol = porcentagem em massa de sacarose aparente; ATR = açúcar total recuperável.

Para a obtenção dos mapas magnéticos e texturais, o grid amostral foi de 1 ponto a cada 5 ha, constituindo 88 pontos na área de estudo. Na obtenção dos mapas de produtividade e de qualidade dos dados históricos de 9 anos/safra da Usina São Martinho, utilizaram-se os mesmos 88 pontos, diferentes dos relacionados aos resultados de biometria que utilizou somente 11 pontos, dos quais 3 pontos de plantio estavam sendo renovados no ano/safra da coleta.

2.2.4 Modelagem matemática, estatística e análise multivariada

A estatística descritiva foi aplicada nos dados do estudo utilizando o software Minitab Release 18, para analisar os valores de média, mediana, mínimo, máximo, desvio padrão, assimetria, curtose e coeficiente de variação. A variabilidade espacial das variáveis desse estudo foi avaliada por meio do uso da geoestatística, sendo o variograma experimental estimado sob a hipótese de estacionaridade pela equação (1):

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

sendo: $\gamma(h)$ - valor da semivariância para uma distância h ; $N(h)$ - número de pares envolvidos no cálculo da semivariância; $Z(x_i)$ - valor do atributo Z na posição x_i ; $Z(x_i+h)$ - valor do atributo Z separado por uma distância h da posição x_i .

Modelos matemáticos permissíveis foram ajustados aos variogramas, e estimados os variogramas experimentais para obter os valores do efeito pepita, C_0 ; patamar, C_0+C_1 e alcance, a . Os dados foram baseados nos pares envolvidos no cálculo de cada ponto do variograma experimental com base na soma do quadrado dos resíduos (SQR), na estimativa do patamar e no coeficiente de determinação (R^2). Em seguida, aplicou-se a técnica de validação cruzada (VC) para testar todo o procedimento de ajuste dos modelos. A estimativa da distribuição de valores das variáveis para os pontos não amostrados no grid foi realizada pela krigagem ordinária, utilizando o programa Surfer (Surfer for Windows, 1999).

Os mapas dos resultados da biometria foram georreferenciados pelo inverso do quadrado da distância através do Programa Surfer, enquanto os mapas do banco de dados históricos de 9 safras foram georreferenciados pelo método da krigagem ordinária através do Programa GS+.

A análise multivariada surge como um conjunto de procedimentos que visa a agrupar e a discriminar grupos de indivíduos, podendo também selecionar as variáveis com maior peso na construção dos primeiros componentes principais que, possivelmente, melhor representam o conjunto de dados estudados. Com a técnica da análise multivariada, é possível explicar o máximo de intercorrelação entre as variáveis e identificar quais delas contribuem mais para a caracterização e/ou a alteração do solo (Pragana et al., 2012).

Para realizar a análise multivariada, padronizaram-se os dados de forma que cada variável apresentasse média zero e variância unitária. O objetivo da padronização foi minimizar as diferenças entre os possíveis grupos, estabelecendo, assim, o mesmo peso ao calcular o coeficiente de similaridade entre os pontos amostrais. Ou seja, a não padronização poderia levar a inconsistências nas soluções das técnicas aplicadas, uma vez que as medidas de distância utilizadas são sensíveis a diferentes escalas ou magnitudes de variáveis. Tais procedimentos estatísticos foram classificados como técnicas de interdependência no contexto de análises multivariadas, nas quais nenhuma das variáveis é definida como independente ou

dependente, pois o processo envolve a análise simultânea de todas as variáveis juntas (Hair et al., 2005). O coeficiente de similaridade utilizado foi a distância euclidiana (Sneath e Sokal, 1973); o método de agrupamento hierárquico consistia em medir a distância entre os pontos de amostragem, a fim de dividi-los em grupos, de modo que eles se associassem gradualmente e, ao fazer tal associação, todos os objetos pertencessem a um único grupo. Neste trabalho, o método de agrupamento de classes foi o algoritmo de Ward, e os resultados da análise de agrupamento, utilizando o método hierárquico, foram apresentados graficamente como dendrogramas para identificação de agrupamentos relacionados aos pontos de amostragem de um eventual agrupamento.

A Análise de Componentes Principais (PCA) é uma técnica que transforma um grande número de variáveis em um conjunto menor de variáveis não correlacionadas sem a possível perda de informações relacionadas às variáveis iniciais, as quais são chamadas de principais componentes geradas por combinações lineares das variáveis originais através dos autovalores da matriz de covariância, sendo utilizada a matriz de correlação linear de Pearson. Esses PCs funcionam como eixos, e cada grupo aplicado à equação do componente produz as coordenadas (pontuações), a partir das quais é possível obter sua localização no espaço. A PCA condensou as variáveis medidas em novas variáveis não medidas, na tentativa de avaliar o poder discriminatório das originais. Cada par de componentes principais (PCs) gerou uma representação bidimensional do espaço amostral original, denominado biplot, onde é possível explicar as estruturas das variáveis, direcionando as características dos feixes nas regiões de máxima variação. Os componentes principais, cujos autovalores foram maiores que a unidade, foram considerados (Kaiser, 1958).

Os teores médios dos atributos da planta, em cada grupo identificado, foram comparados pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Foi utilizada a linguagem de programação em Python 3.6 para ajuste do gráfico de contorno, a fim de observar o comportamento da variável dependente em relação a duas variáveis independentes, conjuntamente; para tanto, foi aplicada uma regressão polinomial multivariada de terceira ordem.

2.3 Resultados e Discussão

2.3.1 Caracterização e espacialização dos atributos do solo e da planta

Os resultados de produtividade e de qualidade via banco de dados históricos são baseados em média ponderada de 1º a 7º estágio de corte, durante 9 safras distintas e contemplado por 5 variedades de cana-de-açúcar, sendo elas: CTC9005HP, RB855156, RB867515, CTC2 e SP832847. Já os resultados via biometria são baseados em média aritmética de 1º a 3º estágio de corte, em uma única safra e contemplado pelas variedades CTC9005HP e RB855156.

De acordo com a classificação de Warrick e Nielsen (1980), todos os atributos do solo enquadram-se na classe alta ($CV \geq 24$) (Tabela 2). Já nos atributos da planta, os resultados históricos enquadram-se na classe baixa ($CV \leq 12$), e nos resultados de biometria, a suscetibilidade magnética enquadra-se na classe alta, e os aspectos tecnológicos, na baixa. Entretanto, destaca-se o quanto o coeficiente de variação (CV) da suscetibilidade magnética, nas duas profundidades, é maior comparado ao índice para argila e areia nas suas profundidades, demonstrando o quanto a suscetibilidade magnética é mais sensível aos atributos do solo comparada aos aspectos granulométricos. Da mesma forma, os atributos da planta mensurados via biometria apresentaram coeficiente de variação maior que os mensurados via histórico.

Observa-se que a produtividade média (TCH) via dados históricos e via biometria é similar; entretanto, o TCH histórico varia de 72,32 até 96,85, e no resultado via biometria, na safra de 2018/2019, varia de 54,54 até 122,67. Os teores médios de ATR e Pol via biometria são maiores comparados ao resultado via histórico, mas vale destacar que, para análise tecnológica, a análise via biometria considera o colmo de cana-de-açúcar limpo, diferentemente da análise via histórico, que é advinda da sondagem realiza na indústria (Tabela 2).

Tabela 2. Estatística descritiva dos atributos estudados.

	Média	Med.	Mín.	Máx.	DP	Assim.	Curt.	CV ⁽¹⁾
Atributos do solo								
SM _{LF} 0,0-0,2m (10 ⁻⁶ m ³ kg ⁻¹)	19,47	13,28	0,51	57,0	17,81	0,65	-0,90	91,48
Argila 0,0-0,2m (g kg ⁻¹)	267,7	239,0	76,0	642,0	146,1	0,65	-0,58	54,58
Areia 0,0-0,2m (g kg ⁻¹)	639,9	708,3	193,34	907,8	221,3	-0,58	-1,01	34,58
SM _{LF} 0,2-0,4m (10 ⁻⁶ m ³ kg ⁻¹)	19,78	13,17	0,0	59,48	18,37	0,68	-0,82	92,87
Argila 0,2-0,4m (g kg ⁻¹)	317,9	292,0	59,0	625,0	159,0	0,33	-1,10	50,01
Areia 0,2-0,4m (g kg ⁻¹)	628,6	685,3	203,5	932,5	214,9	-0,55	-0,98	34,18
Atributos da planta – histórico								
TCH	87,57	92,39	72,32	96,85	8,23	-0,72	-0,93	9,40
ATR	129,85	130,27	126,75	132,17	1,42	-0,94	0,42	1,09
Pol	15,77	15,88	15,14	16,05	0,24	-1,57	1,33	1,57
Brix	18,31	18,39	17,81	18,58	0,21	-1,42	0,93	1,15
Fibra	13,68	13,77	13,03	14,08	0,22	-1,73	3,69	1,62
Atributos da planta – biometria								
TCH	88,34	88,03	54,54	122,67	21,35	0,26	-0,31	24,17
ATR	146,11	143,40	139,88	155,08	5,64	0,35	-1,78	3,86
Pol	17,25	17,25	16,25	18,47	0,74	0,12	-1,35	4,32
Brix	19,56	19,52	18,70	20,55	0,59	-0,03	-1,05	3,06
Fibra	11,74	11,76	10,58	12,80	0,70	-0,01	-0,89	6,01

Med = mediana; Mín. = mínimo; Máx. = máximo; DP = desvio padrão; Assim. = assimetria; Curt. = curtose; CV = coeficiente de variação; SM_{LF} = suscetibilidade magnética em baixa frequência; TCH = tonelada de cana por hectare; ATR = açúcar total recuperável; Pol = porcentagem em massa de sacarose aparente; Brix = porcentagem em massa de sólidos solúveis.

Com base na análise de correlação linear entre os atributos do conjunto de variáveis relacionadas ao solo e à planta (Figura 4), observou-se que a suscetibilidade magnética, nas duas profundidades, apresentou correlações positivas e significativas ($p < 0,05$) com as concentrações de argila nas duas profundidades e com TCH, ATR, Pol, Brix e Fibra; e correlações negativas e significativas ($p < 0,05$) com as concentrações de areia nas duas profundidades.

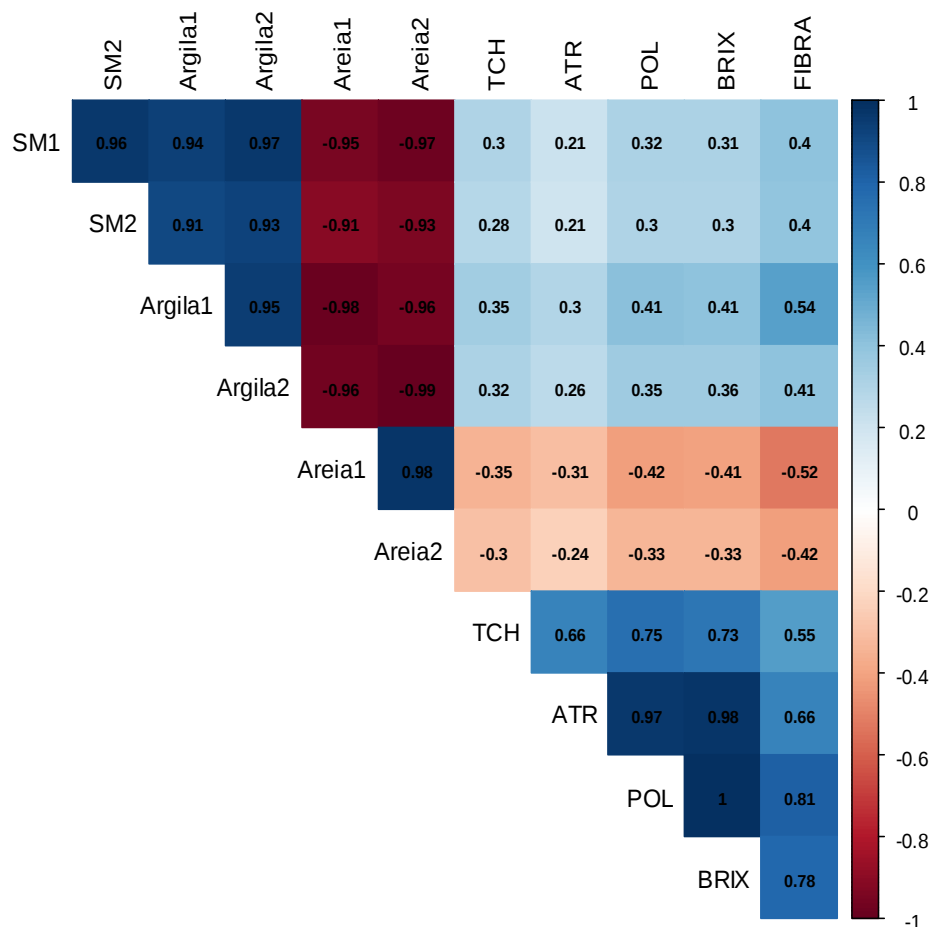


Figura 4. Matriz de correlação entre os atributos do solo e da planta (SM1=suscetibilidade magnética 0,0-0,2m; SM2=suscetibilidade magnética 0,2-0,4m; Argila1=teor argila 0,0-0,2m; Argila 2=teor argila 0,2-0,4m; Areia1=teor areia 0,0-0,2m; Areia2=teor areia 0,2-0,4m; TCH=tonelada de cana por hectare; ATR= açúcar total recuperável; Pol = porcentagem em massa de sacarose aparente; Brix = porcentagem em massa de sólidos solúveis).

Estas mesmas correlações entre suscetibilidade magnética com produtividade e atributos tecnológicos de cana-de-açúcar foram encontradas por Siqueira (2010, 2013) e Sanchez (2015), para vários solos do Estado de São Paulo, conforme apresentado na Tabela 1. Os atributos estudados apresentaram dependência espacial, sendo os modelos esféricos os que mais se ajustaram à variabilidade espacial dos dados (Figura 5). Este fato corrobora aqueles obtidos por outros pesquisadores (McBratney e Webster, 1986; Cambardella et al., 1994; Cortez et al.,

2011). Cambardella et al. (1994) relataram que o modelo matemático esférico é o mais adaptado para descrever o comportamento de atributos das plantas e dos solos.

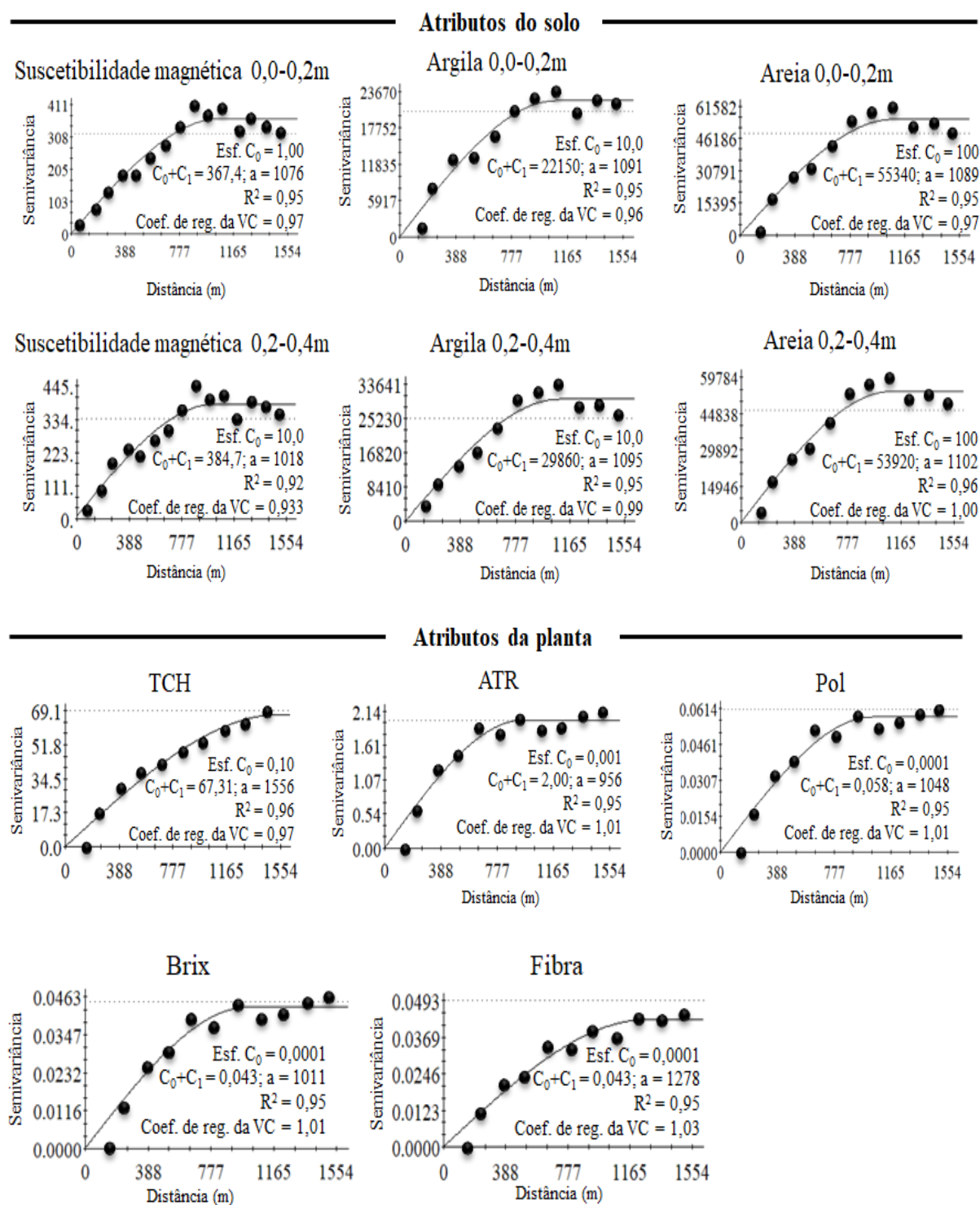


Figura 5. Variogramas simples dos atributos do solo e dos atributos da planta (TCH, ATR, Pol, Brix e Fibra via dados históricos de 9 safras).

O efeito pepita é um parâmetro importante do variograma e indica variabilidade não explicada, considerando a distância de amostragem utilizada (McBratney e Webster, 1986). Segundo a classificação proposta por Cambardella et al. (1994), a dependência espacial é considerada forte quando os variogramas têm um efeito pepita $\leq 25\%$ do patamar, moderada quando o efeito se encontra entre 25 e 75%, e fraca $> 75\%$. Nos variogramas apresentados, todos enquadram-se na classe de dependência espacial forte.

De acordo com os mapas dos atributos do solo apresentados na Figura 6, observa-se alta relação espacial da suscetibilidade magnética com os teores de argila e areia, nas profundidades de 0,0-0,2 m e 0,2-0,4 m, em que as regiões de maior assinatura magnética apresentam maiores teores de argila e menores de areia. Observa-se que os mapas nas profundidades de 0,0-0,2 m e 0,2-0,4 m são muito semelhantes, demonstrando uma característica importante dos Latossolos quanto à homogeneidade de perfil, em que, mesmo a camada superficial estando sujeita às práticas de manejo agrícola, os valores granulométricos e de assinatura magnética são mantidos.

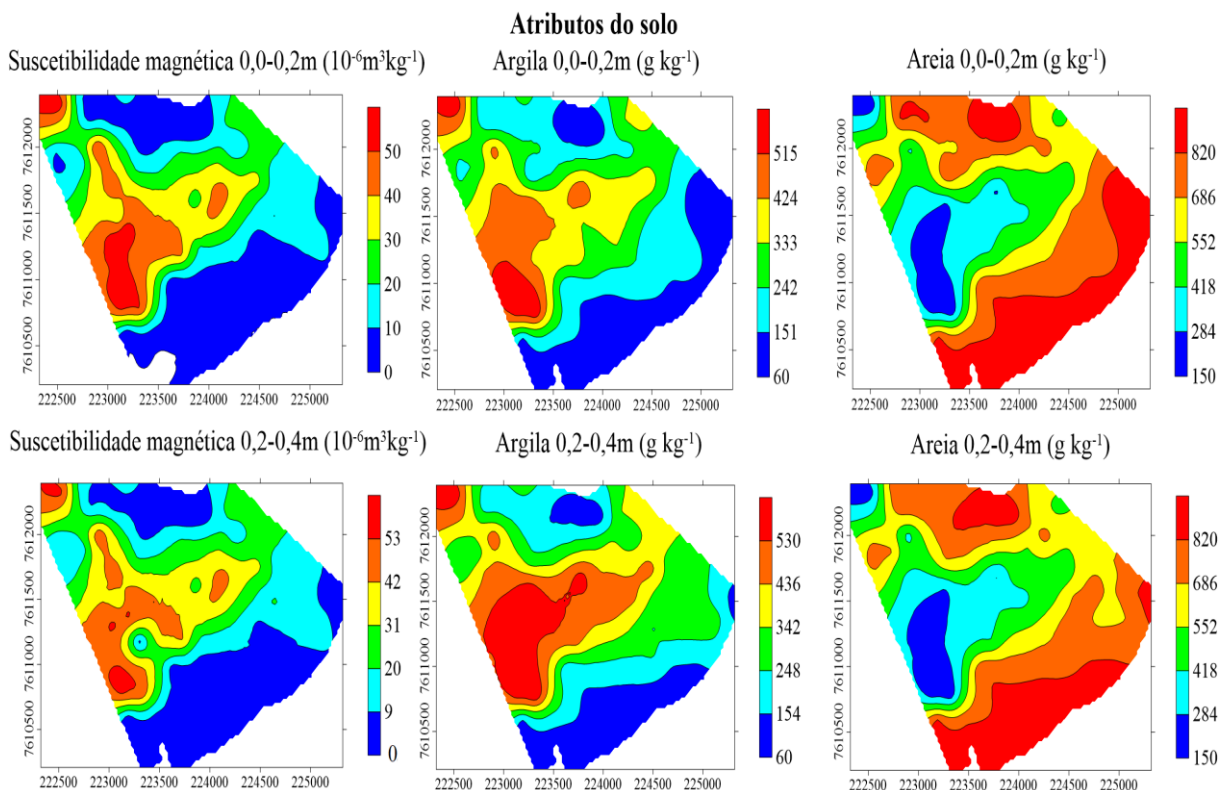


Figura 6. Mapas de distribuição espacial para os atributos do solo.

Quanto aos atributos da cana-de-açúcar, observa-se, na Figura 7, que os dados históricos de 9 safras demonstram regiões de maior produtividade nas regiões com maior suscetibilidade magnética; e quanto à qualidade, pode-se observar que as regiões de maior qualidade, principalmente ATR e Pol, não estão na região de maior produtividade, demonstrando que regiões mais arenosas tendem a acumular mais açúcar, devido principalmente ao estresse sofrido pela planta.

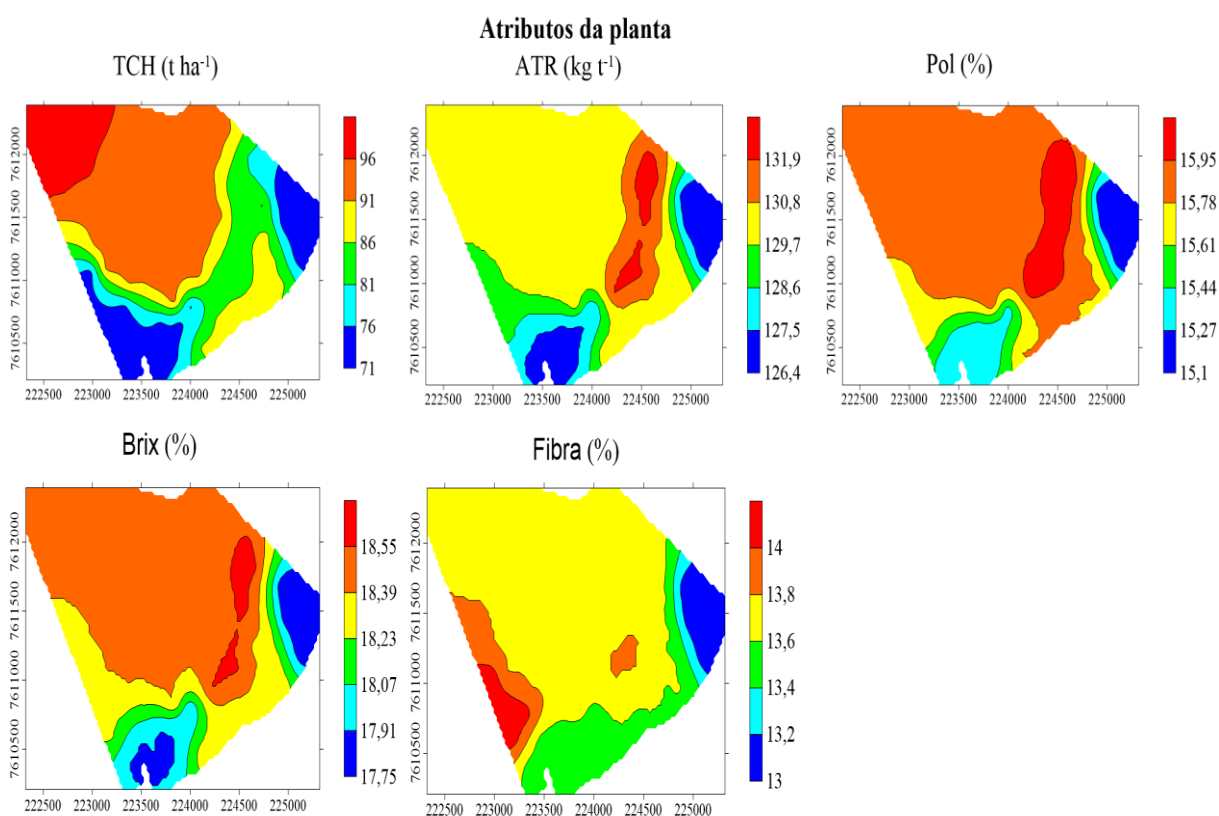


Figura 7. Mapas de distribuição espacial para os atributos da planta (TCH, ATR, Pol, Brix e Fibra) via dados históricos de 9 safras.

Comparando a Figura 7 com a Figura 8, observa-se alta similaridade espacial entre os resultados históricos de 9 safras com os resultados de biometria realizados na safra de 2018/2019 e para os atributos tecnológicos. O comportamento espacial da suscetibilidade magnética acompanha a espacialização dos resultados históricos e de biometria. Ressalta-se que a Figura 8 apresenta os resultados de biometria de 1 safra, georreferenciados pelo inverso do quadrado da distância, enquanto a Figura 7 apresenta os resultados históricos de 9 safras, georreferenciados pelo método da

krigagem ordinária.

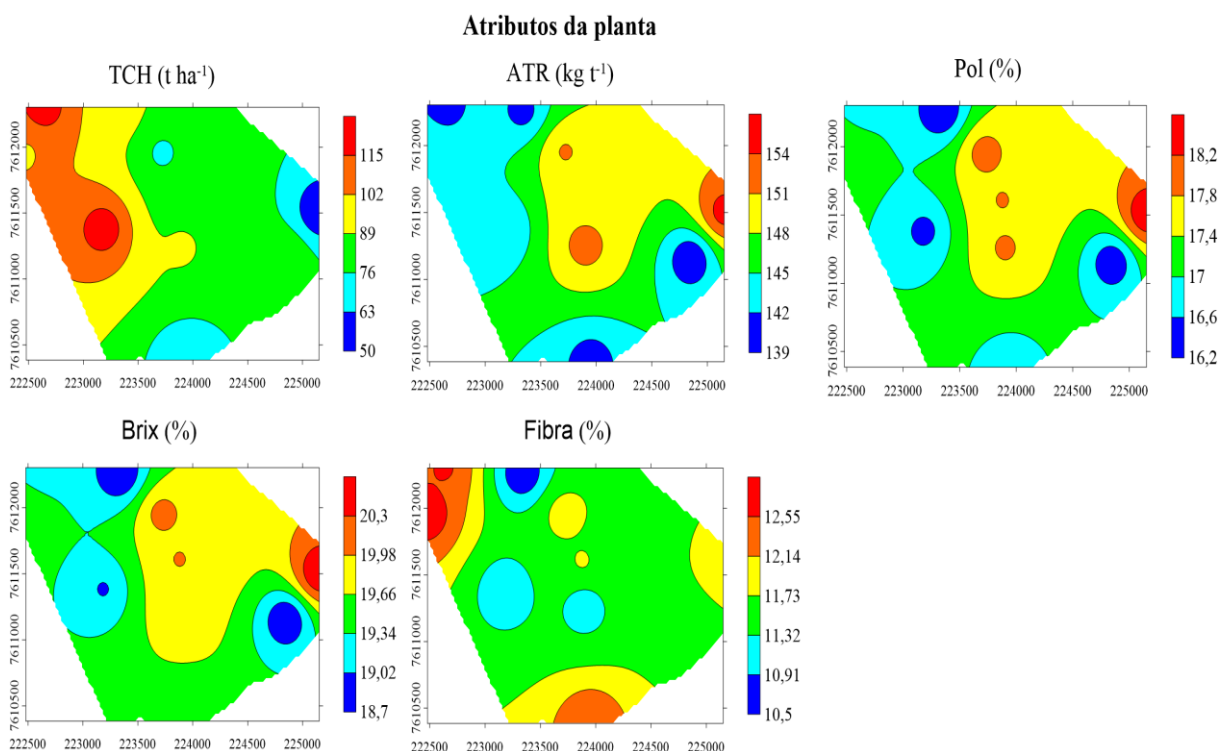


Figura 8. Mapas de distribuição espacial para os atributos da planta (TCH, ATR, Pol, Brix e Fibra) via dados de biometria.

2.3.2 Identificação das áreas com diferentes potenciais para produtividade e qualidade por técnica de estatística multivariada

A distinção dos compartimentos da paisagem na análise de componentes principais foi similar à do agrupamento formado na análise de cluster, utilizando somente os atributos de maior poder discriminatório. A submissão dos dados à análise de cluster possibilitou a formação de três grupos que concordam com a divisão de compartimentos estabelecida em campo.

O agrupamento observado na análise de cluster evidencia a possibilidade de a suscetibilidade magnética ser utilizada como ferramenta que facilite a identificação de compartimento da paisagem e viabilize o mapeamento de áreas mais homogêneas em locais semelhantes. Resultados potenciais semelhantes foram encontrados por Barrios (2011), em que a submissão dos dados à análise de cluster possibilitou a

formação de dois grupos, que coincidem com a divisão de diferentes condições de qualidade do solo.

O dendrograma obtido pela análise hierárquica de agrupamento é apresentado na Figura 9. Cada vez que ocorrem mudanças expressivas nos valores da distância Euclidiana entre os registros definidos como pontos de amostragem nas utilizações dos solos estudados, é possível relacionar-se à formação de grupos de acessos semelhantes, independentemente da profundidade de análise (0,0-0,2m e 0,2-0,4m).

O gráfico Biplot corresponde a um gráfico bidimensional, que possibilita a visualização da estrutura dos atributos do solo e da planta, que explicam a maior variabilidade do conjunto de atributos (Barrios, 2011). Para os 11 atributos estudados, as variações observadas nos valores da distância Euclidiana foram em torno de 20 a 25 (Figura 9).

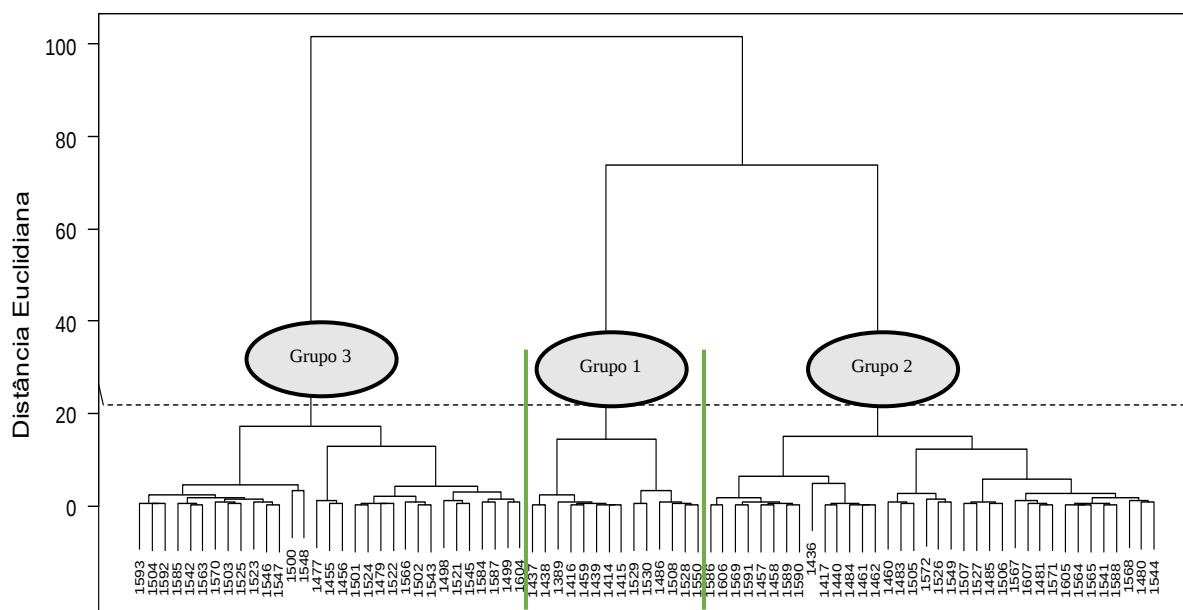


Figura 9. Dendrograma da análise hierárquica de agrupamentos que mostra a formação de três grupos, de acordo com os atributos estudados, identificados como Grupo 1, Grupo 2 e Grupo 3.

A análise do dendrograma (Figura 9), considerando os atributos de solo e planta, permitiu a formação de 3 grupos distintos (Grupo 1, Grupo 2 e Grupo 3), sendo os atributos do solo e da planta agrupados de acordo com seu grau de semelhança, com

o objetivo de classificá-lo em grupos similares (Barrios, 2011). Houve diferenças (quando comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade) para os resultados médios dos atributos da cana-de-açúcar (TCH, ATR, Pol, Brix e Fibra) entre os Grupos 3 e 1, sendo o Grupo 2 estatisticamente similar ao Grupo 3 (Tabela 3).

Tabela 3. Média dos atributos da planta nos 3 grupos identificados.

	TCH	ATR	Pol	Brix	Fibra
Atributos da planta					
Grupo 1	73,99b	127,08b	15,26b	17,87b	13,29b
Grupo 2	89,64a	130,56a	15,87a	18,40a	13,73a
Grupo 3	91,27a	130,18a	15,86a	18,39a	13,80a
CV(%)	6,28	0,49	0,54	0,38	0,97

Médias seguidas de letras iguais não diferem, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade; TCH = tonelada de cana por hectare; ATR = açúcar total recuperável; Pol = porcentagem em massa de sacarose aparente; Brix = porcentagem em massa de sólidos solúveis; CV = coeficiente de variação.

Os valores de suscetibilidade magnética obtidos foram classificados como classe Alta ($\geq 38,1$); Intermediária (19,3-38,0) e Baixa ($\leq 19,2$), a fim caracterizar os grupos identificados pela análise multivariada. Conforme apresentado na Tabela 4, caracterizou-se a porcentagem de distribuição entre valores altos, intermediários e baixos da suscetibilidade magnética para cada grupo identificado pela análise multivariada. Pode-se observar que a suscetibilidade magnética é um fator importante na identificação das áreas com diferentes potenciais de produtividade e qualidade, de forma que, conforme demonstrado nas Tabelas 3 e 4, o grupo 3 é que apresenta maiores resultados de produtividade e classes alta e intermediária de suscetibilidade magnética; por outro lado, o grupo 1 é o que apresenta menores resultados de produtividade e classe baixa de suscetibilidade magnética.

Tabela 4. Classe de SM por grupo identificado pela análise multivariada.

Classe SM	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
Alta	0	0	51,6%
Intermediária	0	8,3%	48,4%
Baixa	100%	91,7%	0

SM = suscetibilidade magnética ($10^{-6} \text{ m}^{-3} \text{ kg}^{-1}$).

Os resultados para a análise de componentes principais (Figura 10), para verificar a formação dos grupos observados na análise hierárquica de agrupamentos, indicam que 63,92% da variabilidade total foram explicadas pelo primeiro componente principal (PC1); o segundo componente principal (PC2), por sua vez, explicou 27,01% da variabilidade, totalizando 90,93% da variabilidade contida nos dados originais. Essa quantidade de variação explicada foi suficiente para gerar os mesmos três grupos observados na análise anterior.

O poder discriminatório de cada variável, em um componente principal, pode ser medido pelos coeficientes de correlação linear entre cada variável e o respectivo componente principal, conforme apresentado na Tabela 5, podendo-se inferir que, no PC1 e por ordem de importância, as características que apresentaram maiores coeficientes de correlação foram Areia 1 e 2 (- 0,92 e - 0,90), Argila 1 e 2 (0,92 e 0,90) e SM 1 e 2 (0,88 e 0,86), e este componente pode ser interpretado como o contraste entre Argila e Suscetibilidade Magnética com Areia; sendo TCH e Fibra com poder maior discriminante em PC1 (0,58 e 0,70).

A PC2, por sua vez, apresenta apenas a variável de produção, expressa por TCH, ATR, Pol, Brix e Fibra produzida com um coeficiente de correlação de -0,54, - 0,74, -0,71, -0,70 e -0,46, respectivamente, considerado relevante para este componente, com uma ação conjunta, resultante das demais (Tabela 5).

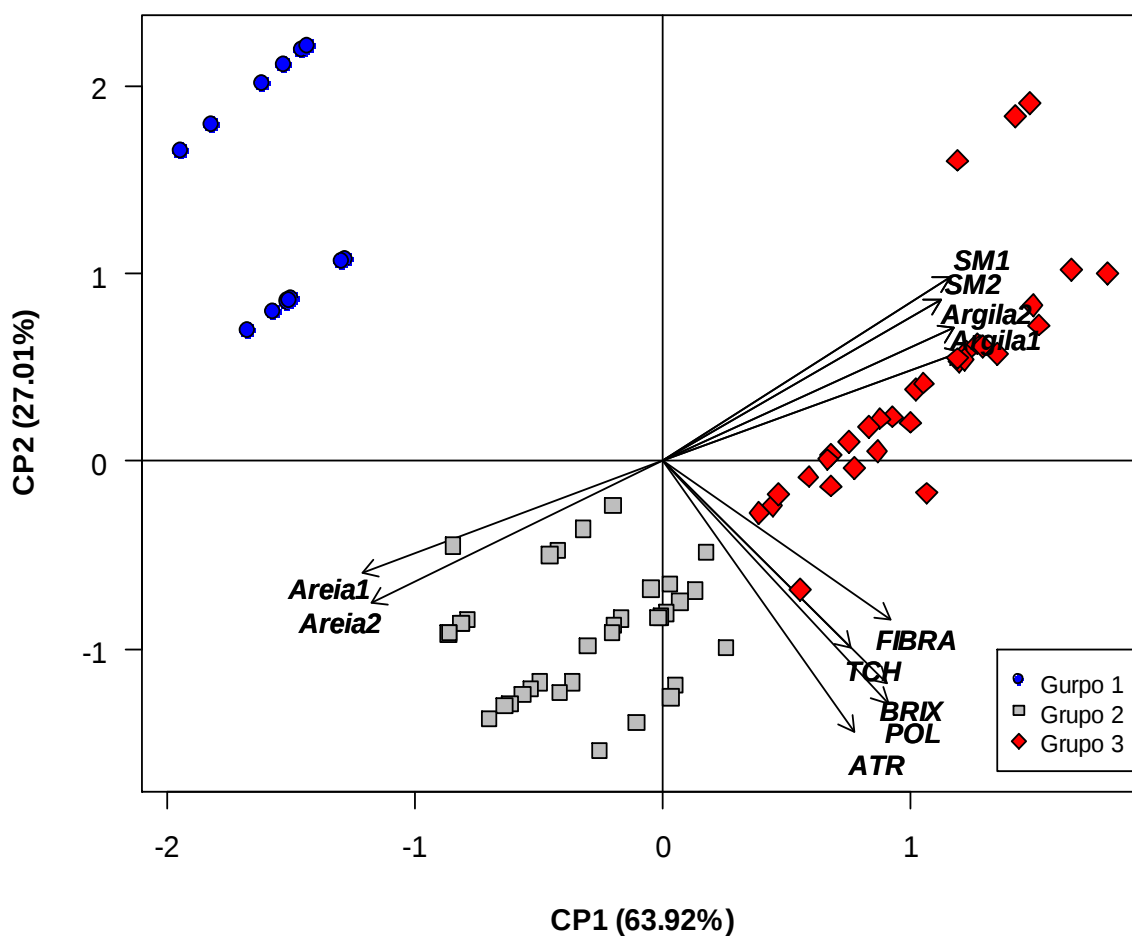


Figura 10. Gráfico biplot do primeiro e segundo componentes principais do PCA com todas as observações avaliadas. SM1=suscetibilidade magnética 0,0-0,2m; SM2=suscetibilidade magnética 0,2-0,4m; Argila1=teor argila 0,0-0,2m; Argila 2=teor argila 0,2-0,4m; Areia1=teor areia 0,0-0,2m; Areia2=teor areia 0,2-0,4m; TCH=tonelada de cana por hectare; ATR= açúcar total recuperável; Pol = porcentagem em massa de sacarose aparente; Brix = porcentagem em massa de sólidos solúveis. Grupo1=produtividade baixa, Grupo2=produtividade intermediária, Grupo3=produtividade alta.

Tabela 5. Coeficientes de correlação linear das variáveis estudadas.

Variável	PC1	PC2
SM1	0,88	0,43
SM2	0,86	0,42
Argila1	0,92	0,31
Argila2	0,90	0,39
Areia1	-0,92	-0,32
Areia2	-0,90	-0,41
TCH	0,58	-0,54
ATR	0,59	-0,74
Pol	0,69	-0,71
Brix	0,69	-0,70
Fibra	0,70	-0,46

SM1=suscetibilidade magnética 0,0-0,2m; SM2=suscetibilidade magnética 0,2-0,4m; Argila1=teor argila 0,0-0,2m; Argila 2=teor argila 0,2-0,4m; Areia1=teor areia 0,0-0,2m; Areia2=teor areia 0,2-0,4m; TCH=tonelada de cana por hectare; ATR= açúcar total recuperável; Pol = porcentagem em massa de sacarose aparente; Brix = porcentagem em massa de sólidos solúveis.

Observa-se, na Figura 11, a alta relação espacial dos pontos de cada agrupamento da análise multivariada com os intervalos magnéticos da área de estudo expressos no mapa. O Grupo 1 localiza-se na região de menor suscetibilidade magnética e teor de argila, com teores de areia elevados, representando os menores valores para os atributos da cana. Já o Grupo 2 está posicionado na região de suscetibilidade magnética e teor de argila intermediários, representando resultados médios para os atributos da cana, mas não estatisticamente diferente dos resultados do Grupo 3. Este, por sua vez, está localizado na região de maior suscetibilidade e teor de argila; conseqüentemente, apresenta os melhores resultados para os atributos da cana.

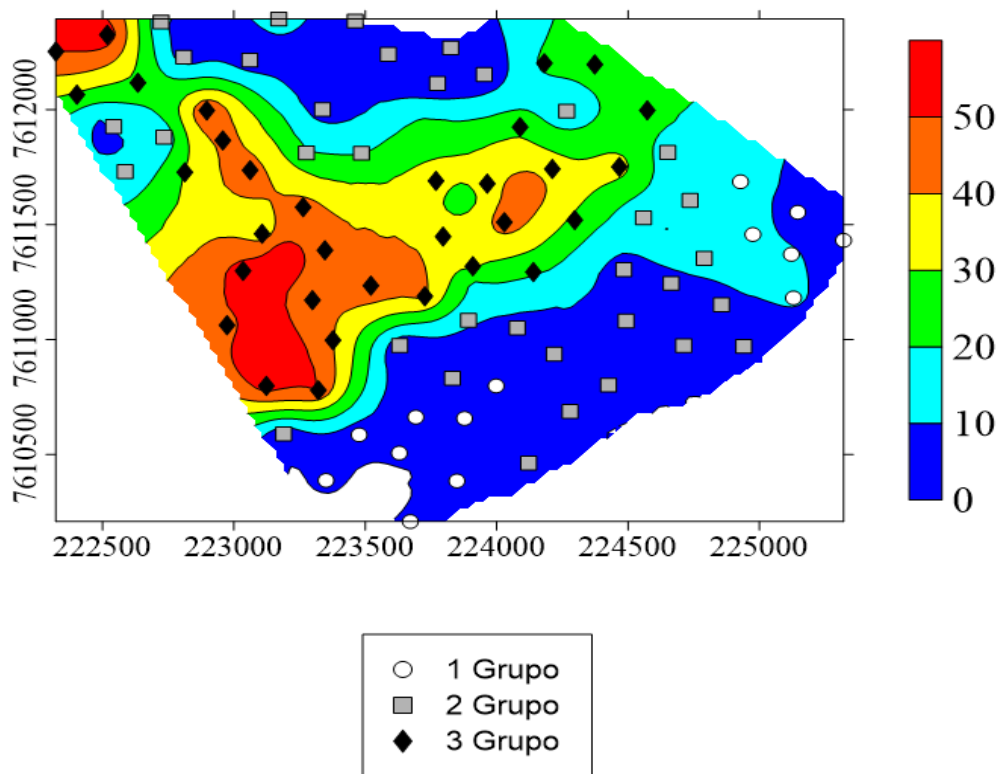


Figura 11. Sobreposição dos 3 agrupamentos de atributos identificados no mapeamento da suscetibilidade magnética 0,0-0,2m da área de estudo. Grupo1=produtividade baixa, Grupo2=produtividade intermediária, Grupo3=produtividade alta.

Sanchez Neto (2015) comparou dados históricos de 7 safras para Pol e TCH nas formas côncavas e convexas, obtendo para o canavial de 1º corte Pol de 13,89 contra 14,32, e TCH de 128,64 contra 126,87. Concluiu-se que os valores da resposta da planta em tonelada de colmos por hectare (TCH) foram maiores nas formas côncavas, comparadas às convexas, e também que nem sempre os locais de maior produtividade são, necessariamente, aqueles com melhores características industriais como a Pol. Resultados semelhantes foram encontrados por Marques Júnior (2009), que encontrou correlação negativa entre Pol e suscetibilidade magnética.

Em análise comparativa, Sanchez Neto (2015) indicou ganhos de até 27% em tonelada de açúcar por hectare (TAH) em relação à média regional quando considerada a utilização da forma da paisagem para o planejamento das atividades agrícolas. Relacionando a resposta da planta aos atributos da paisagem, geomorfologia e a assinatura magnética, sendo às áreas côncavas as que possuem

maiores valores de suscetibilidade magnética, a identificação de regiões com melhores índices qualitativos pode auxiliar no planejamento logístico de frentes de colheita, proporcionando a redução do custo por unidade produzida (Ripoli e Ripoli, 2004). Sanchez Neto (2015) chegou à conclusão de que, mesmo com a interferência de fatores externos, como pragas e plantas daninhas, o modelo de resposta de cana-de-açúcar, em função das formas de relevo, apresentou, em média, exatidão de 55% para produtividade de TCH e 64% para Pol. Relações semelhantes de paisagem com índices industriais também foram encontradas para laranja (Siqueira et al., 2010) e café (Pollo, 2013). Desta forma, esta segmentação da paisagem com características de produtividade e qualidade pode auxiliar o arrendamento de terra, além de ser uma ferramenta importante para o planejamento de manejo das fazendas, antecipando a colheita nas formas convexas e realizando plantio de variedades médias e/ou tardias, nas formas côncavas (Sanchez Neto, 2015).

2.3.3 Utilização da suscetibilidade magnética para alocação de variedades

Observando os resultados de produtividade e de qualidade dos dados de biometria por amplitudes magnéticas da classe 1 para a 5 (menor para maior suscetibilidade magnética), na profundidade de 0,0-0,2 m, nota-se, na Figura 12, que a produtividade na classe 5 se mostrou superior às classes 4; 3; 2 e 1. Quanto ao ATR e Pol, a classe 4 mostrou-se superior às demais. No índice de TAH, a classe 5 mostrou-se superior às classes 4; 3; 2 e 1. Os resultados da biometria foram obtidos durante 1 safra (2018) com a média geral de 2 variedades (RB855156 e CTC9005HP) e 3 cortes diferentes, sujeitos a intempéries do clima, ataque de pragas e competição com plantas daninhas.

Pode-se observar que a classe de maior suscetibilidade magnética corresponde à de maior produtividade (Figura 12). Resultados semelhantes foram encontrados por Siqueira (2010), onde a suscetibilidade magnética apresentou correlação espacial com os atributos do solo e da planta, concluindo que a suscetibilidade magnética pode ser utilizada para auxiliar o mapeamento de áreas de manejo específico para a cultura da cana-de-açúcar.

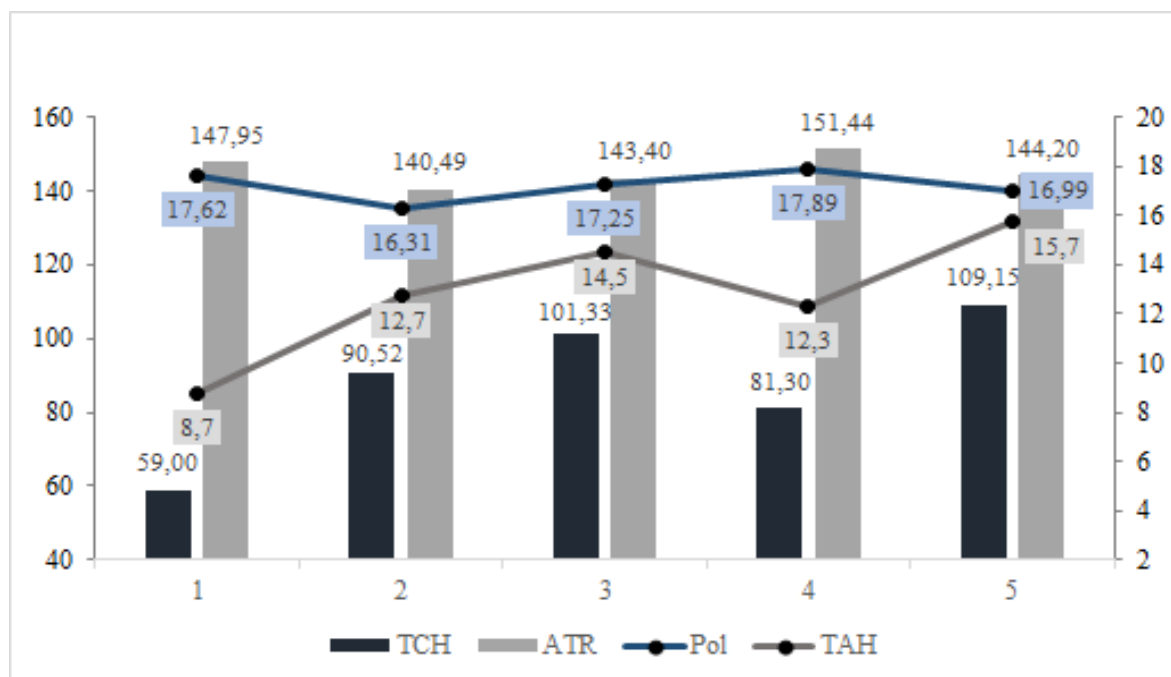


Figura 12. Resultados de biometria por amplitude magnética, na profundidade de 0,0-0,2m (TCH = tonelada de cana por hectare; ATR = açúcar total recuperável; Pol = porcentagem em massa de sacarose aparente; TAH=tonelada de açúcar por hectare). Sendo classe1=SM muito baixa, classe2=SM baixa, classe3=SM intermediária, classe4=SM alta, classe5=SM muito alta.

Barrios (2011) chegou à mesma conclusão, em que a suscetibilidade magnética pode ser utilizada como indicador de qualidade (geofísico) em ambientes sob sistemas de manejo em cana-de-açúcar, podendo ser a ferramenta de estudo da caracterização detalhada da variabilidade espacial em grandes áreas. A informação magnética também auxilia na identificação das áreas em que os valores de Pol e TCH estão abaixo do esperado, sinalizando a interferência de fatores ambientais e/ou manejo que estejam afetando o resultado (Sanchez Neto, 2015).

De acordo com Barbosa (2017), para atingir a máxima eficiência da conversão de energia solar em fitoenergia, é necessário utilizar cultivares altamente produtivas em ambientes que proporcionem condições ótimas para o seu desenvolvimento, como também utilizar cultivares tolerantes em ambientes de produção desfavoráveis.

Santos (2008) identificou diferenças no potencial produtivo dos ambientes em até 53,6% em áreas pertencentes a uma mesma usina. Estudos realizados por Melo et al. (2006) inferiram que a produção de cana por hectare (TCH) é um dos caracteres

mais influenciados pela interação genótipo x ambiente, corroborando a variabilidade dos resultados de produtividade, conforme a variabilidade do atributo da suscetibilidade magnética. Resultados apresentados por Raizer e Vencovsky (1999), em estudos de avaliação da estabilidade fenotípica de novas variedades de cana-de-açúcar, demonstraram alta linearidade da produção em relação à melhoria ambiental, sendo a SP803280 a que apresentou maiores índices de produtividade, e esse material genético possui uma importante área de cultivo até os dias atuais.

A Figura 13 apresenta a correlação entre os resultados de TCH, ATR e Pol das variedades de cana-de-açúcar com suscetibilidade magnética, baseando-se nos resultados de biometria realizados na safra de 2018. Na figura, o primeiro número representa a variedade alocada, sendo 5156 = RB855156 (precoce para ambientes de produção B, C e D) e 9005 = CTC9005HP (precoce para ambientes de produção A, B e C), e o segundo valor representa o resultado de suscetibilidade magnética na profundidade de 0,0-0,2 m. As cores representam as classes de magnetismo, sendo classe 1 = azul = SM muito baixa; classe 2 = verde = SM baixa; classe 3 = amarela = SM intermediária; classe 4 = laranja = SM alta; classe 5 = vermelha = SM muito alta.

Analisando o gráfico de TCH x ATR (Figura 13), observa-se que a classe de maior magnetismo obteve alto índice de produtividade e baixo índice de ATR, enquanto a classe de menor magnetismo obteve baixo índice de produtividade. Podem-se observar alguns resultados de produtividade intermediária (entre 72 e 90TCH) para classes de suscetibilidade magnética alta e muito alta (classe laranja e classe vermelha), demonstrando que a variedade alocada não expressou seu máximo potencial nesse local. Nesse contexto, e considerando os resultados dos materiais genéticos RB855156 e CTC9005HP no presente estudo, nota-se uma oportunidade para a classe 4 (classe laranja), em que a alocação da variedade CTC9005HP, ao invés da RB855156, poderia proporcionar maior produtividade; da mesma forma, o ponto 5156-44,56 (classe vermelha) poderia proporcionar maior produtividade com a alocação da variedade CTC9005HP. Por outro lado, a maior produtividade obtida adveio do ponto 5156-56,9 (classe vermelha), que é o maior resultado de suscetibilidade magnética obtido no estudo e está alocada a variedade RB855156, demonstrando que, apesar da indicação da instituição RIDESA de alocação dessa variedade nos ambientes de produção B, C e D, esse material é altamente responsivo

e pode apresentar resultados interessantes em alguns locais de alto potencial, assim como outros materiais também poderiam apresentar resultados semelhantes em cenários similares.

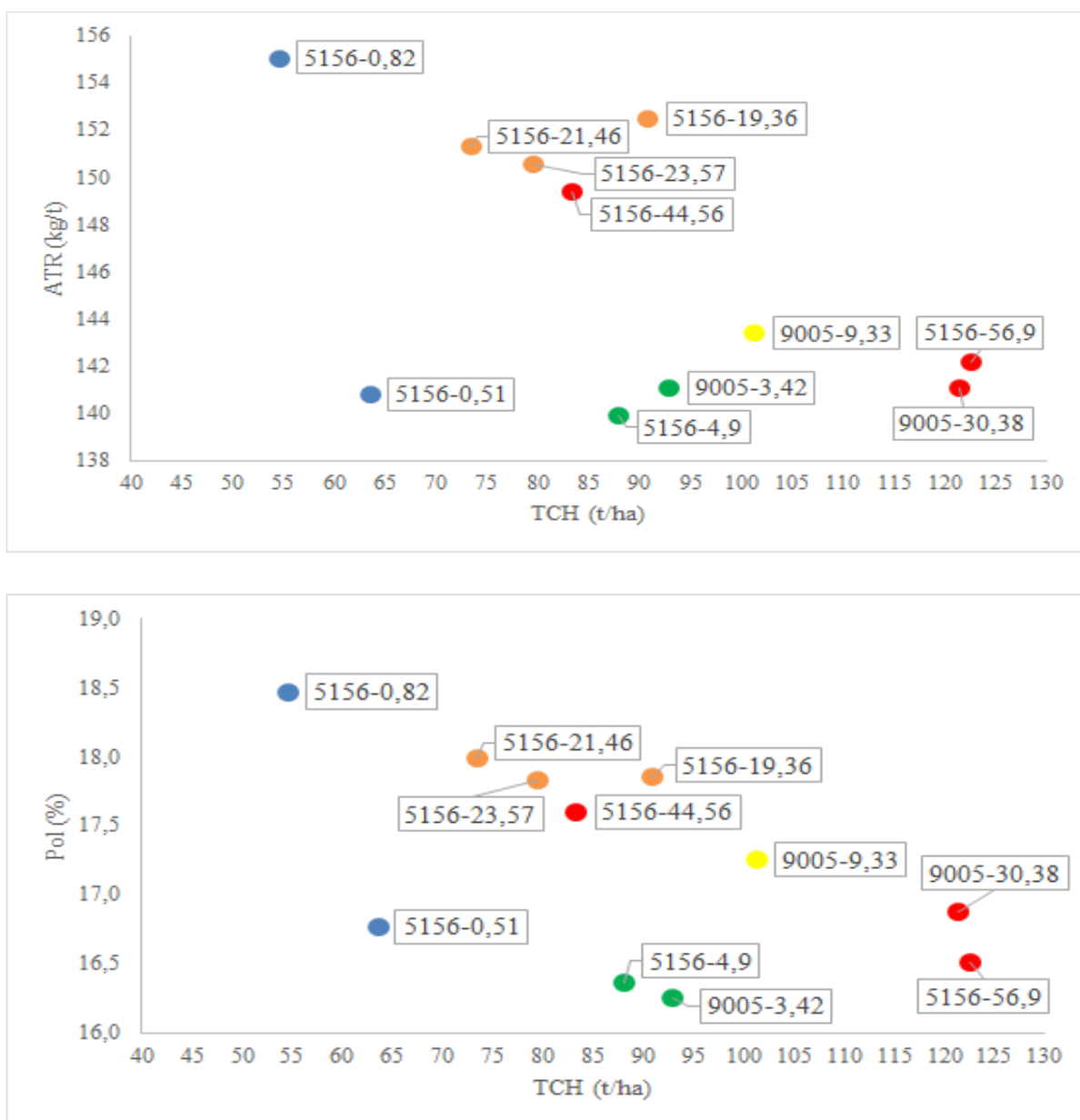


Figura 13. Distribuição dos resultados de biometria por amplitude magnética, na profundidade de 0,0-0,2m, para TCH, ATR e Pol. Sendo classe1=azul=SM muito baixa, classe2=verde=SM baixa, classe3=amarela=SM intermediária, classe4=laranja=SM alta, classe5=vermelha=SM muito alta.

Outra oportunidade refere-se à classe 1, com produtividade da RB855156 abaixo de 65TCH, que poderia ser avaliado e, conforme o manejo de colheita, o desenvolvimento de variedades mais rústicas nessa região, como, por exemplo, a RB867515, que é recomendada para ambientes de produção C, D e E; sendo sua principal característica a boa produtividade em ambiente de menor potencial produtivo (Ridesa, 2008).

O gráfico de TCH x Pol (Figura 13) apresentou comportamento similar ao de TCH x ATR, sendo válidas as mesmas considerações.

Analizando o gráfico de contorno da Figura 14 em que estão plotados os 11 pontos da biometria identificados pelo valor da SM, e a variedade sendo 5156=RB855156 e 9005=CTC9005HP, pode-se observar que as maiores classes de SM apresentam maiores resultados de produtividade e de qualidade de cana-de-açúcar. Por outro lado, conforme a classe de SM diminui, observa-se maior variabilidade nos dados, mas todos com tendência a menores resultados para produtividade e qualidade.

O maior ponto de SM (56,9 – 5156) apresenta a maior produtividade, para a variedade RB855156, e baixo índice de ATR. Já o menor resultado de produtividade (0,82-5156) está na classe mais baixa de SM, para a variedade RB855156, e apresenta o maior índice de ATR, comportamento esperado, dado que a menor SM identifica solos mais restritivos, que favorecem o estresse da cana-de-açúcar e, consequentemente, sua maturação e acúmulo de açúcar. Quando se analisam os pontos na menor classe de SM, estes possuem produtividade máxima de 100TCH.

De acordo com os resultados para produtividade e qualidade entre as classes de maior e menor SM, nos 11 pontos de biometria, apresentados na Tabela 6, pode-se observar que a variedade RB855156 apresentou 21,3TCH a mais nos pontos com SM média de 33,17, comparados aos pontos com SM média de 2,08; já para a análise qualitativa, apresentou 3,91kg/t de ATR a mais, comparando a classe de maior SM com a de menor SM. A variedade CTC9005HP apresentou incremento de 24,27TCH nos pontos com SM média de 30,38, comparados aos pontos com SM média de 6,38; e para a análise qualitativa, a classe de menor SM apresentou maior resultado, com incremento de 1,2kg/t de ATR, sinalizando resposta menor em acúmulo de açúcar nos

solos menos restritivos, comportamento oposto ao encontrado nos pontos de SM baixa.

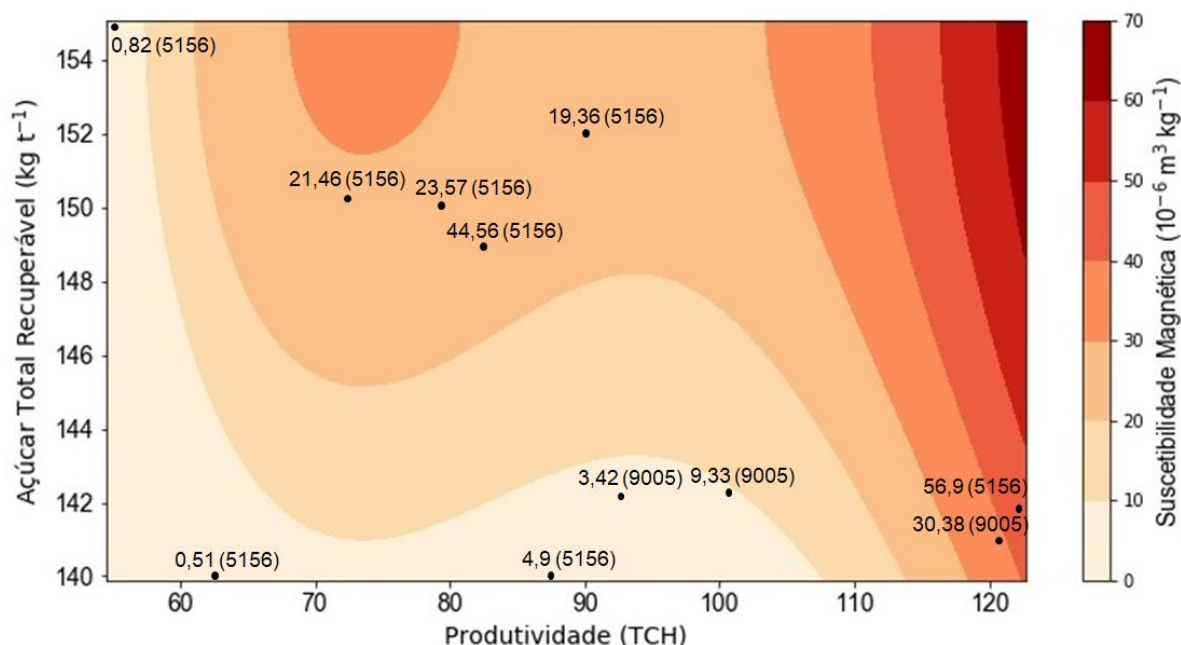


Figura 14. Gráfico de contorno dos atributos TCH = tonelada de cana por hectare, ATR = açúcar total recuperável e SM = suscetibilidade magnética ($10^{-6} \text{ m}^{-3} \text{ kg}^{-1}$).

O maior resultado de TAH foi obtido pela variedade CTC9005HP na classe de maior SM, e o menor resultado, pela variedade RB855156 na classe de menor SM. Considerando a mesma variedade, o resultado em TAH da classe de menor SM para a de maior SM obteve-se incremento de 34,5% e 23,9% para as variedades RB855156 e CTC9005HP, respectivamente. Considerando classes de suscetibilidade magnética similares, o resultado em TAH da variedade RB855156 para a CTC9005HP obteve incremento de 38,5% e 27,6% para as classes de baixa e de alta SM, respectivamente.

Conforme discutido na Figura 13, considerando a sugestão de alocação do material CTC9005HP em substituição ao material RB855156, nos solos com maior resultado de SM ou mais responsivos, há indicações de ganho de 31,46TCH, conforme os resultados obtidos nos 11 pontos de biometria apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Média dos atributos da planta e SM para cada variedade.

Variedade	SM	TCH	ATR	TAH
RB855156	2,08	68,68	145,26	9,98
RB855156	33,17	89,98	149,17	13,42
CTC9005HP	6,38	97,17	142,25	13,82
CTC9005HP	30,38	121,44	141,05	17,13

SM = suscetibilidade magnética; TCH = tonelada de cana por hectare; ATR = açúcar total recuperável; TAH = tonelada de açúcar por hectare.

O desempenho de cada variedade varia conforme a região produtora, o regime pluviométrico, a aplicação de vinhaça, etc. Campos et al. (2009) demonstraram a alocação de variedades baseados na distribuição espacial dos atributos de fertilidade e do teor de argila do solo, considerando a exigência em fertilidade e em água de cada material genético.

A análise do desempenho das variedades, nas diferentes classes de magnetismo, sinaliza a oportunidade na construção de zonas de manejo específico, baseado na suscetibilidade magnética do solo, conforme demonstrado no mapa de sobreposição dos 3 Grupos identificados pelo dendograma com a suscetibilidade magnética, tornando-se uma ferramenta eficiente para identificar as áreas de maior potencial e para auxiliar a tecnologia de classificação dos ambientes de produção na alocação das variedades de cana-de-açúcar.

2.4 Conclusões

A suscetibilidade magnética é uma ferramenta eficaz na identificação de áreas com diferentes potenciais para produtividade e qualidade de cana-de-açúcar e pode ser utilizada para realizar a alocação de variedades com maior assertividade.

As variedades mais responsivas podem ser alocadas nas classes de maior suscetibilidade magnética, enquanto as variedades menos responsivas podem ser alocadas nas classes de menor suscetibilidade magnética.

2.5 Referências

- Abranches JL, Bolonhezi AC (2011) Desenvolvimento inicial de variedades e clones de cana-de-açúcar em Latossolo Vermelho Distrófico, Aparecida do Taboado-MS. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias** 6:369-375.
- Azevedo AAB, Pressinotti MMN, Massoli M (1981) Estudos sedimentológicos das formações Botucatu e Pirambóia na Região de Santa Rita do Passa Quatro, SP. **Revista do Instituto Geológico** 2:31-38.
- Barbosa AM (2017) **Ambiente de produção na eficiência da conversão de energia solar em cultivares de cana-de-açúcar**. 182 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Unesp, Botucatu.
- Barrios MR (2011) **Suscetibilidade magnética na identificação de compartimentos da paisagem e indicador de qualidade do solo em áreas sob cultivo de cana-de-açúcar**. 74 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Unesp, Jaboticabal.
- Bartington (2013) **Operation manual for MS2 magnetic susceptibility system**. Disponível em: <<http://www.bartington.com/Literaturepdf/Operation%20Manuals/om0408%20MS2.pdf>>. Acesso em: 25 nov. 2018.
- Berg MvanDen, Oliveira JB (2000) Variability of apparently homogeneous soils capes in São Paulo State, Brazil: I. Spatial Analysis. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 24:377-391.
- Boin C (1985) Cana-de-açúcar na alimentação de ruminantes. In.: D'Arce RD, Boin C (Eds.). **Utilização de resíduos agroindustriais da cana-de-açúcar na alimentação de ruminantes**. Piracicaba: FEALQ, p. 19-52.
- Cambardella CA, Moorman TB, Novak JM, Parkin TB, Karlen DL, Turco RF, Konopka AE (1994) Field-scale variability of soil properties in Central Iowa Soils. **Soil Science Society of America Journal** 58:1501-1511.
- Campos MCC, Marques Júnior J, Pereira GT, Souza, ZM, Montanari R (2009). Planejamento agrícola e implantação de sistema de cultivo de cana-de-açúcar com auxílio de técnicas geoestatísticas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 13:297–304.
- Cesar MAA, Delgado AA, Camargo AP, Bissoli BMA, Silva FC (1987) Capacidade de fosfatos naturais e artificiais em elevar o teor de fósforo no caldo de cana-de-açúcar (cana-planta), visando o processo industrial. **STAB: Açúcar, Alcool e Subprodutos** 6:32-38.
- Cortez LA, Marques Júnior J, Peluco RG, Teixeira DB, Siqueira DS (2011) Suscetibilidade magnética para identificação de áreas de manejo específico em citricultura. **Revista Energia na Agricultura** 26:60-79.

Costa ACS, Bigham JM, Rhoton FE, Traina SJ (1999) Quantification and characterization of maghemite in soils derived from volcanic rocks in southern Brazil. **Clays and Clay Minerals** 47:466-473.

Craik D (1995) **Magnetism, principles and applications**. Hoboken: John Wiley and Sons, 468 p.

Dearing JA (1994) **Environmental magnetic susceptibility**: using the Bartington MS2 system. England: British Library, 104 p.

Demattê JAM, Galdos MV, Guimarães R, Genú AM, Nanni MR, Zullo Jr J (2007) Quantification of tropical soil attributes from ETM+/Landsat-7 data. **International Journal of Remote Sensing** 8:3813-3829.

Donzelli JL (2007) **Cartas de solo & ambientes de produção** – Explorando o máximo potencial genético das variedades de cana-de-açúcar. Piracicaba: Centro de Tecnologia Canavieira, 52 p. (Série Manuais).

Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2017) **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 574 p.

Franzen DW, Cihacek LJ, Hofman VL, Swenson LJ (1998) Topography-based sampling compared with grid sampling in the Northern Great Plains. **Journal of Production Agriculture** 11:364-370.

Grimley DA, Vepraskas MJ (2000) Magnetic susceptibility for use in delineating hydric soils. **Soil Science Society of America Journal** 64:2174-2180.

Hair JF, Anderson RE, Tatham RL, Black W (2005) **Multivariate data analysis**. Richmond: Prentice Hall, 687 p.

IAC – Instituto Agronômico de Campinas (1983) **IAC**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, p. 1-30. (Documentos IAC, Boletim Técnico 76).

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (1981). **Mapa Geológico do Estado de São Paulo, escala 1:500.000**. São Paulo: IPT.

Joaquim AC, Bellinaso IF, Donzelli JL (1994). In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA. **Anais...** Piracicaba: Copersucar, 1994. CD-ROM.

Kaiser HF (1958) The varimax criterion for analytic rotation in factor-analysis. **Psychometrika** 23:187-200.

Landell MGA, Silva MA (1995) Manual do experimentador – melhoramento da cana-de-açúcar. In.: _____ (Eds.). **IAC metodologia de experimentação**: ensaios de competição em cana-de-açúcar. Pindorama: Instituto Agronômico – IAC, 1995. p. 3-9.

Lepsch IF (1987) Influência dos fatores edáficos na produção. In.: Castro PRC, Ferreira SO, Yamada T (Coords.). **Ecofisiologia da produção**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, p. 83-98.

Marques Júnior J (2009). **Caracterização de áreas de manejo específico no contexto das relações solo-relevo**. 113 f. Tese (Livre-Docência) – Unesp, Jaboticabal.

Maule RF, Mazza JA, Martha Jr GB (2001) Produtividade agrícola de cultivares de cana-de-açúcar em diferentes solos e épocas de colheita. **Scientia Agricola** 58:295-301.

McBratney AB, Webster R (1986) Choosing functions for semi-variograms of soil properties and fitting them to sampling estimates. **Soil Science Society of America Journal** 37:617-639.

Melo LJOT, Oliveira FJ, Bastos GQ, Anunciação Filho CJ, Reis OV (2006) Interação genótipo x ciclos de colheita de cana-de-açúcar da zona da mata norte de Pernambuco. **Bragantia** 65:97-205.

Pollo GZ (2013). Suscetibilidade magnética, atributos do solo e da planta na discriminação de áreas de manejo específico da cultura do café. 79 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Unesp, Jaboticabal.

Prado H (2005) **Ambientes de produção de cana-de-açúcar na Região Centro-Sul do Brasil**. Piracicaba: Encarte do Informações Agronômicas, 110 p.

Pragana RB, Ribeiro MR, Nóbrega JCA, Ribeiro Filho MR, Da Costa JA (2012) Qualidade física de Latossolos Amarelos sob plantio direto na região do Cerrado piauiense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 36:1591-1600.

Raizer AJ, Vencovsky R (1999) Estabilidade fenotípica de novas variedades de cana-de-açúcar para o estado de São Paulo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 34:2241-2246.

Resende M, Santana DP, Rezende SB (1988) Susceptibilidade magnética em latossolo do Sudeste e Sul do Brasil. In: REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO DE SOLOS E INTERPRETAÇÃO DE APTIDÃO AGRÍCOLA. **Anais...** Rio de Janeiro: Embrapa-SNLCS/SBCS, p. 233-258.

RIDESA – Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro (2008) **Variedades RB**. São Carlos: PMGCA, 31 p.

Ripoli TCC, Ripoli MLC (2004) Qualidade da cana-de-açúcar e seu impacto na indústria. In: _____. (Eds.). Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente. Piracicaba: Editora Barros & Marques Editoração Eletrônica, p. 185-193.

Sanchez Neto V. (2013). **Produção e qualidade da cana-de-açúcar em diferentes formas do relevo**. 52 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Unesp, Jaboticabal.

Santos ACA (2008) **Avaliação de genótipos de cana-de-açúcar para as condições edafoclimáticas de Aparecida do Tabuado – MS**. 90 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Unesp, Ilha Solteira.

Siqueira DS (2010) **Suscetibilidade magnética para a estimativa de atributos do solo e mapeamento de áreas sob cultivo de cana-de-açúcar**. 76 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Unesp, Jaboticabal.

Siqueira DS, Marques Jr J, Pereira GT. (2010) The use of landforms to predict the variability of soil and orange attributes. **Geoderma** 155:55-66.

Siqueira DS (2013) **Mapeamento de atributos e planejamento amostral para latossolos utilizando suscetibilidade magnética, cor e relação solo-paisagem**. 113 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Unesp, Jaboticabal.

Sneath PH, Sokal RR (1973) **Numerical taxonomy: The principles and practice of numerical classification**. San Francisco: W. H. Freeman, 573 p.

Soares PC (1973) Geologia do nordeste do Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA. **Anais...** Aracaju: Sociedade Brasileira de Geologia, p. 209-227.

Stupiello JP (1992) Produção de aguardente: Qualidade da matéria-prima. In.: Mutton MJR, Mutton MA (Eds.). **Aguardente de cana - produção e qualidade**. Jaboticabal: Funep, p. 9-21

Surfer. Surfer 7.0 (1999) **Contouring and 3D surface mapping for scientist's engineers: user's guide**. New York: Golden software, 619 p.

Warrick AW, Nielsen DR (1980) Spatial variability of soil physical properties in the field. In.: Hillel D (Ed.). **Applications of soil physics**. New York: Academic, p. 319-344.

Webster R, Oliver MA (1990) **Statistical methods in soil and land resource survey**. Oxford: Oxford University Press, 328 p.

Wu F, Ano-Chang MRC (1992) Estudo mineralógico dos arenitos das formações Pirambóia e Botucatu no Centro-Leste do Estado de São Paulo. **Revista do Instituto Geológico** 13:58-68.

CAPÍTULO 3 – Considerações finais

Trabalhos semelhantes que relacionem a assinatura magnética com o desempenho de variedades de cana-de-açúcar são escassos na literatura. Dessa forma, a proposta do trabalho é propor uma tecnologia promissora, rápida e de baixo custo para uso prático nas usinas e a fornecedores de cana-de-açúcar cuja proposta é agregar a técnica de classificação de ambientes de produção e alocação de variedades, já consagrada no setor atualmente.

No presente estudo, a suscetibilidade magnética como um atributo que expressa os processos de formação do solo, mostrou ser eficiente para a identificação das áreas com diferentes potenciais para produtividade e qualidade.

Assim, os resultados históricos de produtividade e de qualidade de cana-de-açúcar indicaram o comportamento diferenciado da planta, fortemente relacionado com os intervalos magnéticos mapeados. Este resultado foi confirmado na avaliação biométrica realizada na safra de 2018/2019, onde os valores de produtividade e de qualidade de 2 variedades apresentaram comportamento diferenciado frente aos intervalos magnéticos.

Resultados práticos e econômicos são evidentes, em que, considerando-se um preço equivalente de cana baseado no fechamento CONSECANA (Conselho de Produtores de Cana-de-açúcar, Açúcar e Etanol do Estado de São Paulo) da safra de 2018/2019 e num teor de ATR médio de 138kg/t cana, calcula-se que cada tonelada de cana adquirida no mercado custaria à empresa R\$80,39, sem considerar os custos com CCT (Corte, Carregamento e Transporte) e possíveis subsídios. Conforme apresentado na Tabela 5, num cenário de ganho de 31,46TCH advindo da alocação de um material mais responsivo na classe de maior suscetibilidade magnética, representaria para a empresa um ganho de R\$2.529,61 por hectare, por ano/safra. Baseado na área de estudo e considerando o resultado em 150ha, o ganho atinge a margem de R\$379.441,00 por ano/safra (equivalente a US\$98.046).