UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA ENGENHARIA AMBIENTAL

Geoestatística e geoprocessamento aplicados à tomada de decisão agroambiental
em um sistema de produção de leite a pasto intensivo.

São Carlos – SP

2017

Karoline Eduarda Lima Santos

Versão Original

Geoestatística e geoprocessamento aplicados à tomada de decisão agroambiental
em um sistema de produção de leite a pasto intensivo.

Dissertação apresentada ao programa de pós-graduação como parte dos requisitos à obtenção do título de mestre em Ciências da Engenharia Ambiental, na EESC-USP.

Orientador: Dr. Silvio Crestana

São Carlos – SP

2017

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

S237g Santos, Karoline Eduarda Lima
Geoestatística e geoprocessamento aplicados à tomada de decisão agroambiental em um sistema de produção de leite a pasto intensivo / Karoline Eduarda Lima Santos; orientador Silvio Crestana. São Carlos, 2017.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Ciências da Engenharia Ambiental -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2017.

1. Agricultura de precisão. 2. Zoneamento ambiental. 3. Métodos de interpolação. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidata: **KAROLINE EDUARDA LIMA SANTOS**

Título da dissertação: "Geoestatística e geoprocessamento aplicados à tomada de decisão agroambiental em um sistema de produção de leite a pasto intensivo"

Data da defesa: 21.09.2017

Comissão Julgadora:

Dr. **Silvio Crestana**
(Orientador)
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

Prof. Dr. **Luiz Eduardo Moschini**
(Universidade Federal de São Carlos/UFSCar – São Carlos)

Dr. **Alberto Carlos de Campos Bernardi**
(Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/Embrapa)

Resultado:

APROVADO

APROVADO

APROVADO

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental:
Prof. Associado **Frederico Fabio Mauad**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:
Prof. Associado **Luis Fernando Costa Alberto**

AGRADECIMENTOS

“Nenhum dever é mais importante do que a gratidão” (Cícero).

Com a conclusão esta fase, venho retribuir, mesmo que com simples palavras, a todos aqueles que, direta ou indiretamente, ajudaram na concretização deste objetivo.

Agradeço à minha família, Evaldo, Simone e Marina, que me incentivaram, me deram colo e consolo, e com quem compartilho, felizmente, todas minhas felicidades e tristezas.

Meu muito obrigada ao Dr. Silvio Crestana, por acreditar que eu era capaz e pela orientação. Mesmo chegando sem me conhecer direito, o senhor abriu as portas, como um pai que abre os braços para receber uma filha.

Agradeço ao Dr. Alberto Bernardi, que acreditou em meu potencial de uma forma que eu não acreditava ser capaz de corresponder. Sempre disponível e disposto a ajudar, querendo que eu aproveitasse cada segundo, desde a fase do estágio até o mestrado, para absorver algum tipo de conhecimento.

Meu eterno obrigada à Giovana Bettiol, pelos ensinamentos, orientações, incentivo, amizade e dedicação. Você esteve ao meu lado durante os últimos três anos (seja pessoalmente ou virtualmente), e não mediu esforços para me ajudar, sempre com uma solução simples para os meus problemas que pareciam ser gigantes.

Agradeço ao Dr. Luiz Eduardo, que me auxiliou nas principais decisões profissionais, durante toda minha graduação até hoje. Por ter se tornado mais que um professor da graduação, mas um amigo que sei que posso contar nos momentos de apuro.

Minha eterna gratidão às minhas amigas, Ana Marotti, Luiza Neves e Leonardo Gallo, que se tornaram mais que amigos de faculdade, e sim parte da minha família. Obrigada por estarem comigo, apesar de toda distância geográfica. E também aos amigos que fiz no decorrer destes dois anos, Maria Paula e Diego Correa. Obrigada por todo incentivo, conversa e momentos que estarão sempre bem guardados na memória.

E a todos outros profissionais da Embrapa (Sudeste e Instrumentação) que de alguma forma que auxiliaram no decorrer desta fase.

RESUMO

SANTOS, Karoline Eduarda Lima. **Geoestatística e geoprocessamento aplicados à tomada de decisão agroambiental em um sistema de produção de leite a pasto intensivo**. 2017.

Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

Movido pelo crescimento populacional, a visão de sistemas sustentáveis tem despertado a atenção de diversos setores. Sendo um dos principais domínios economicamente ativo do país, a agropecuária vem buscando meios para se adequar a essa realidade. Nesse contexto, surgem as Boas Práticas Agropecuárias, das quais pode-se citar a Agricultura de Precisão, o pastejo rotacionado e o manejo ambiental, os quais se implementados em conjunto proporcionam um melhor gerenciamento da área de interesse. Assim, objetivou-se, aplicar conceitos de geoestatística e geoprocessamento para a obtenção de zonas de manejo de uma área de pastagem de capim Tanzânia, em São Carlos - SP, e delimitação de unidades de manejo para aplicação de calagem e adubação, com base no melhor método de interpolação. Com os resultados de análise de solo foram realizadas análises geoestatísticas para avaliação da dependência espacial dos atributos químicos, e a Validação Cruzada dos modelos adotados. Os mapas foram obtidos pelo método de interpolação por Krigagem Ordinária e a definição das zonas de manejo foi realizada por meio de lógica fuzzy. A partir dos mapas dos parâmetros químicos do solo gerou-se o mapa de zonas de manejo resultando em cinco zonas sendo: 0,02ha (1,2% da área total) considerada como “muito baixa” fertilidade; 0,3ha (18%) “baixa” fertilidade; 0,75ha (44%) como “média” fertilidade; 0,55ha (32%) como “alta” fertilidade e, 0,08ha (4,8%) como “muita alta” fertilidade. A comparação dos métodos de interpolação demonstrou que a Krigagem Ordinária foi a melhor metodologia para o estudo. A geoestatística e o geoprocessamento demonstraram ser técnicas que auxiliam nas decisões estratégicas e complexas em relação ao gerenciamento do sistema de produção agrícola.

Palavras-chave: Agricultura de Precisão, zoneamento ambiental, planejamento ambiental, geoestatística, métodos de interpolação

ABSTRACT

SANTOS, Karoline Eduarda Lima. **Geostatistics and geoprocessing in decision making agro-environmental in a system of milk production intensive grazing**. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

Moving by population growth, the vision of sustainable systems has attracted the attention of various sectors. Being one of the main areas economically active of the country, agriculture has been seeking ways to adapt to this reality. In this context, emerge the Good Farming Practices, which among them we can mention the Agriculture of Precision, the rotate pasture and environmental management, which if implemented together will provide a better management of the area of interest. The present study aimed to apply the concepts of geostatistics and GIS to obtain areas of management of an area of pasture grass, Tanzania, São Carlos – SP, and delimitation of management units for the application of liming and fertilization, based on the best interpolation method. With the analysis results of the soil analyses were performed geo-statistical for evaluation of the dependence on the spatial attributes of chemicals. The maps were obtained by the method of interpolation by Kriging Ordinary and the definition of zones for the management was performed by fuzzy logic. From the maps of chemical parameters of the soil has resulted from the management zone map, resulting in five areas being: 0.02 ha (1.2% of total area) regarded as “very low” fertility; and 0.3 ha (18%) “low” fertility; 0.75 ha (44%) as “average” fertility; 0.55 ha (32%) as “high” fertility and, 0.08 ha (4.8%) as “very high” fertility. The comparison of the interpolation methods showed that Kriging Ordinary was the best methodology for the study. The geostatistics and GIS have proved to be techniques that help with strategic and complex decisions in relation to the management of the agricultural production system.

Keywords: Precision Agriculture, environmental zoning, environmental planning, geostatistics, interpolation methods

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Evolução do Consumo total de NPK no Brasil.....	17
Figura 2. Ciclo da Agricultura de Precisão.	20
Figura 3. Representação esquemática dos tipos de amostragem: aleatória simples (A); aleatória estratificada (B); e sistemática (C).	24
Figura 4. Semivariograma experimental com características próximas do ideal.	25
Figura 5. Modelos de variogramas com patamar e sem patamar.	26
Figura 6. Mapa de localização da área de estudo.	33
Figura 7. Mapa de altimetria da área de estudo.....	34
Figura 8. Modelo cartográfico empregado.	36
Figura 9. Fluxograma dos processos adotados como metodologia.	37
Figura 10. Histogramas das variáveis químicas do solo de uma área de pastagem <i>Panicum maximum</i> cv. Tanzânia em São Carlos, SP.....	39
Figura 11. Mapas da distribuição dos parâmetros químicos (pH, V%, Ca, Mg, CTC, P, MO e K) e do solo de um sistema de pastagem <i>Panicum maximum</i> cv. Tanzânia em São Carlos-SP, e seus correspondentes mapas fuzzy.....	44
Figura 12. Mapa de fertilidade de uma área <i>Panicum maximum</i> cv. Tanzânia em São Carlos-SP.....	49
Figura 13. Mapas de recomendação de calagem (A) e adubação (B e C) de um sistema de capim-tanzânia em São Carlos – SP.....	50
Figura 14. Comparação de métodos de interpolação e definição de unidades de manejo, referentes a Calagem (A), adubação KCl (B) e Superfosfato Simples (C)	55
Figura 15. Gráfico da Produção de leite (L/mês)	76
Figura 16. Gráfico do balanço e eficiência do uso de nitrogênio no sistema durante o experimento	58

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1. Cálculo variograma “sem patamar”	26
Equação 2. Cálculo Krigagem Ordinária	27
Equação 3. Cálculo IDW	28
Equação 4. Cálculo IDW com pesos	28
Equação 5. Quantidade de ração consumida por dia.....	74
Equação 6. Quantidade de kg de nitrogênio consumido por dia	74
Equação 7. Quantidade de kg de nitrogênio por mês	74
Equação 8. Quantidade de kg de silagem por dia	74
Equação 9. Quantidade de kg de silagem por mês.....	74
Equação 10. Nitrogênio presente na pastagem	75
Equação 11. Nitrogênio no leite	75
Equação 12. Eficiência do Uso de Nitrogênio no Sistema.....	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Modelos teóricos de variogramas com patamar	26
Tabela 2. Interpretação do índice do Coeficiente de Correlação de Pearson.	29
Tabela 3. Escala Fundamental de Saaty.	31
Tabela 4. Limites de interpretação dos parâmetros químicos do solo.	35
Tabela 5. Classes de interpretação das camadas fuzzy dos parâmetros químico.	35
Tabela 6. Parâmetros estatísticos das variáveis químicas do solo de uma área de pastagem capim-tanzânia em São Carlos, SP.....	38
Tabela 7. Parâmetros de ajuste dos variogramas das variáveis químicas do solo de uma área de pastagem capim-tanzânia em São Carlos, SP.....	41
Tabela 8. Validação cruzada das variáveis químicas do solo de uma área de pastagem capim-tanzânia em São Carlos, SP.....	42
Tabela 9. Áreas das subdivisões dos mapas de fertilidade do solo e suas porcentagens correspondentes em relação à área total de estudo.....	46

Tabela 10.Áreas das subdivisões do mapa de Calagem e suas porcentagens correspondentes.	51
Tabela 11.Recomendação de adubação potássica para o estabelecimento e manutenção de pastagens em sistemas intensivos de produção, considerando a disponibilidade de K no solo.	52
Tabela 12.Áreas das subdivisões do mapa de KCl e suas porcentagens correspondentes.	52
Tabela 13.Áreas das subdivisões do mapa de Superfosfato Simples e suas porcentagens correspondentes.	53
Tabela 14.Estatísticas de avaliação empregada para comparação de métodos de interpolação de parâmetros de correção e adubação de uma área de pastagem capim-tanzânia em São Carlos, SP.	53
Tabela 15.Entradas, saídas, balanço e eficiência do uso do nitrogênio nos sistemas de produção.	77

LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

PIB: Produto Interno Bruto

BPAs: Boas Práticas Agropecuárias

AP: Agricultura de Precisão

SIG: Sistema de Informação Geográfica

IDW: Inverso Ponderado da Distância

r: Coeficiente de Correlação de Pearson

R²: Coeficiente de Determinação

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	15
2.1 Geral	15
2.2 Específico	15
3. JUSTIFICATIVA	16
4. REFERENCIAL TEÓRICO	19
4.1 Boas Práticas Agropecuárias	19
4.2 Agricultura de Precisão (AP)	20
4.3 Geoestatística	23
4.4 Análise de dados espaciais	31
5 MATERIAL E MÉTODOS	33
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
7 PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS	57
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS	58
REFERÊNCIAS	60
Anexo	72
Apêndice 1. Semivariogramas	80
Apêndice 2. Gráficos de Correlação de Pearson (r)	80

1. INTRODUÇÃO

Segundo a teoria demográfica de Malthus, teoria pioneira que abrange a questão população x alimento, o ritmo de crescimento populacional (em progressão geométrica) seria mais acelerado que o ritmo de crescimento da produção de alimentos (em progressão aritmética). Assim, em certo tempo não seria mais possível aumentar a área cultivável, pois os continentes estariam plenamente ocupados pela agropecuária e, no entanto, a população mundial ainda continuaria crescendo (FONTANA et al., 2015).

Infelizmente, muitas vezes movido pela ignorância, o homem age de forma a impactar negativamente o capital natural ainda existente no planeta. Denomina-se como capital natural a soma dos recursos naturais e os serviços provindos do meio ambiente, e cabe ao homem, como ser pensante, buscar maneiras de se utilizar destes de forma que a sustentabilidade do sistema possa acontecer. Compreende-se aqui como sustentabilidade o manejo ou utilização dos recursos naturais, de forma economicamente viável, ecologicamente correta e socialmente justa. Ou seja, de maneira a não exaurir o capital natural e garantir sua existência para as futuras gerações. Neste sentido, é preciso se atentar tanto à qualidade quanto quantidade dos recursos ambientais (MILLER, 2007).

Atualmente, em países que apresentam grandes áreas propícias para o desenvolvimento de alguma atividade econômica e rica diversidade ambiental, como é o caso do Brasil, é inevitável o uso e ocupação deste território sem causar algum dano ou impacto no meio ambiente, sejam por atividades destinadas à moradia ou como meio de produção. Segundo o Censo Agropecuário de 2006, disponibilizado pelo IBGE, cerca de 30% (236 milhões de hectares) de todo território brasileiro é destinado à produção de alimentos, silvicultura e biocombustíveis. Isto demonstra a grande importância deste setor para o PIB do país, uma vez que em 2010 aproximadamente 21,35% do mesmo era provido do agronegócio (CEPEA, 2016). Quando em comparação com os demais setores econômicos, é a atividade agropecuária a que requer maior demanda dos recursos hídricos, fato que ocorre também a nível global na qual 70,2% do consumo de água que vem dos mananciais são utilizados para a produção de alimentos (AGÊNCIA BRASIL, 2015).

Somando-se a isso, temos os impactos negativos que esta atividade exerce no meio físico. A utilização exacerbada de insumos tóxicos para o controle de pragas, aumento de produtividade e até mesmo para evitar ou retardar a reestruturação da vegetação natural para se atingir a produção desejada, são algumas das consequências diretas deste ramo (DE DEUS; BAKONYI, 2012).

Nessa perspectiva, é necessária uma mudança de postura por parte produtores rurais para que a agricultura se torne um meio de produção mais sustentável e tenha maior produtividade (produção por área). Uma vez que a produção advinda da agricultura terá de ampliar em 80% até 2050 para atender 9,7 bilhões de pessoas (CURY, 2015). Destarte, a gestão ambiental vem sendo inserida nas atividades agropecuárias, tornando-se um diferencial que atrai a atenção de diversos grupos de interesse, desde a comunidade científica até o consumidor final. Pensa-se nos benefícios econômicos, a partir da redução do consumo de água, fertilizantes, entre outros, além do aumento da eficiência no uso dos insumos; os ambientais, uma vez que aumentando a produtividade da área por meio de vias menos agressivas ao meio assegurando sua capacidade de suporte; e os sociais, a partir da otimização da mão-de-obra e o investimento na capacitação dos empregados e produtores, por exemplo (KAMIYAMA, 2011).

Com este viés tem-se a agricultura sustentável, a qual segundo a Agenda 21 Brasileira (2000) a agricultura sustentável é definida como um sistema produtivo de alimentos e fibras que garanta (MASCARENHAS, 2004.p.13):

- a) a manutenção a longo prazo dos recursos naturais e da produtividade;*
- b) um mínimo de impactos adversos ao meio ambiente;*
- c) retornos adequados aos produtores;*
- d) otimização da produção com um mínimo de insumos externos;*
- e) satisfação das necessidades humanas de alimentos e renda; e*
- f) atendimento das necessidades sociais das famílias e comunidades rurais.*

É por meio do gerenciamento da propriedade agrícola que o produtor rural irá alcançar os objetivos propostos pela agricultura sustentável (PRETTY, 2007). Isso significa, por exemplo, que não basta apenas conhecer a sua produtividade, mas também quais são os seus custos (SÁ, 2011).

Com tais características, surgem as Boas Práticas Agropecuárias (BPAs) que se apresentam como uma solução para a minimização dos impactos ambientais negativos provindos deste setor econômico. Sua eficácia é garantida com base no manejo ambiental da propriedade que envolve uma visão sistêmica da mesma, se atentando aos aspectos dos resíduos, corpos hídricos e do manejo do solo. Com o objetivo de garantir o melhor proveito de todos os recursos utilizados e suas eficiências, tendo como apoio as legislações ambientais (PALHARES, 2014).

Segundo Oenema e Pietrzak (2002), um dos mais importantes objetivos dos sistemas de agricultura sustentável é a eficiência de uso dos nutrientes, pois o uso ineficiente resulta em um baixo desempenho econômico e também prejuízos ambientais. Dessa forma, tendo-se ampliado a

aplicação de novas tecnologias nos sistemas de produção e consolidação dos rebanhos em áreas cada vez menores, cria-se a necessidade de aumentar o fluxo de insumos no processo produtivo e o gerenciamento dos resíduos gerados, o que, se não for feito de forma organizada pode comprometer a sustentabilidade dos sistemas (BONATTI, 2014).

Para o controle preciso das atividades desenvolvidas os produtores podem fazer uso de técnicas computacionais, como a geoestatística e o geoprocessamento, os quais auxiliam na avaliação da sustentabilidade dos sistemas de produção de forma visual. A partir das interpretações das informações representadas por meio destas ferramentas é possível mensurar os impactos ambientais que vem sendo, serão ou que foram causados devida alguma intervenção e contribuir para o melhor gerenciamento das futuras decisões.

Contudo, o gerenciamento ambiental da unidade produtiva é de suma importância para o desenvolvimento correto da atividade agropecuária na atualidade. E estudos que demonstram a aplicabilidade de metodologias que auxiliam tal manejo de forma mais precisa, se mostram promissores e necessários.

2. OBJETIVOS

2.1 Geral

Aplicar princípios de geoestatística e geoprocessamento para auxílio na tomada de decisão agroambiental para o uso de insumos em uma pastagem na Embrapa Pecuária Sudeste, localizada no município de São Carlos-SP.

2.2 Específico

- Concepção do mapa de zonas de manejo com base em parâmetros químicos do solo;
- Elaboração de mapas de recomendação de calagem e adubação mineral e;
- Delimitação de unidades de manejo para aplicação de corretivos e adubos minerais.

3. JUSTIFICATIVA

O aumento no consumo mundial de alimentos é inegável. Estudiosos defendem que há quantia suficiente para abastecimento da população, mas o que prevalece é a má distribuição. Da mesma maneira, países como o Brasil que apresentam grande potencial para produção de alimentos precisam se atentar a esta demanda e realizar uma boa gestão territorial em que se concilia produção e sustentabilidade. É nessa vertente que as Boas Práticas Agropecuárias trabalham, uma vez que são princípios e técnicas que possuem como objetivo aumentar a produtividade da área levando em consideração o tripé da sustentabilidade (CATI, 2010).

Uma postura gerencial que pode ser entendida como uma BPAs é a chamada Agricultura de Precisão, a qual pode ser definida como o uso de práticas agrícolas com base em informações digitais que levam em consideração a variabilidade espacial da área a sofrer intervenção, com o propósito de potencializar o retorno econômico e minimizar os riscos de danos ao meio ambiente (INAMASU et al., 2011). Outro que merece destaque, e vem como complemento desta primeira, é a prática do manejo rotacionado. Consiste na divisão da propriedade a ser utilizada para a pastagem em piquetes, os quais são submetidos a períodos alternados de pastejo e descanso. Com isso se tem um melhor aproveitamento da cultura de pastagem e da absorção de nutrientes pelos animais (CARNEVALLI, 2012). Ambas as formas de manejo citadas colaboram para a sustentabilidade do sistema, já que procuram garantir que mesmo com as interferências na área esta não se esgote por completo e seja possível utilizá-la por mais tempo respeitando sua capacidade suporte (UZÊDA, 2004).

Entretanto, não está embutido na realidade da maioria das propriedades rurais atuais o pensamento no bem-estar ecológico, social e econômico, mas sim de se atentar apenas no lucro. Exemplo disso é o elevado uso de fertilizantes minerais que são usados no território brasileiro, como demonstrado na figura 1, na qual um panorama da distribuição do total de fertilizantes no Brasil na última década é exposto (IPNI, 2015).

Figura 1. Evolução do Consumo total de NPK no Brasil.

Fonte: IPNI, 2015.

A quantia e frequência do uso destes fertilizantes minerais nas áreas em que se desenvolvem alguma atividade agropecuária tem direta interferência no solo, podendo acarretar em impactos ambientais negativos para o meio ambiente, como eutrofização, lixiviação, erosão, entre outros; e até mesmo levar a diminuição da eficácia e eficiência dos mesmos.

Dessa maneira, é por meio do manejo ambiental, o gerenciamento dos resíduos, recursos hídricos e do solo, todos embasados na legislação ambiental, que a resiliência e sustentabilidade do sistema poderá ser garantida (PALHARES, 2014). Nesta pesquisa contemplou-se apenas um destes pontos, o manejo do solo. Sendo reiterado a importância da análise holística da propriedade, a fim de efetivar o manejo ambiental e as BPAs.

O solo segundo o Departamento de Agricultura U.S (USDA) pode ser definido como:

“um corpo natural composto por sólidos, líquidos e gases que ocorre na superfície da terra, ocupa espaço, e é caracterizado por um ou mais horizontes que se distinguem do material inicial como resultado da adição, perda, transferência ou transformação da energia e da matéria”

Este compartimento serve de suporte para a maior parte da vida existente do planeta, e apresenta papel importante para diferentes setores econômicos, como o da engenharia civil, agricultura, moradia, preservação ambiental, entre outros. Daí a importância de seu uso adequado e racional (MILLER; GARDINEER, 2001).

O manejo do solo se caracteriza pelo uso apropriado do mesmo de forma a conservá-lo, por meio da redução da erosão e da restauração de sua fertilidade, principalmente pela manutenção da vegetação de cobertura. Pode ser entendido como um conjunto de operações realizadas com objetivos de propiciar condições favoráveis à produção das culturas por tempo ilimitado. Para isso, por meio do planejamento que envolve desde a semeadura à colheita, procura-se abordar as

boas práticas conservacionistas por intermédio do uso de técnicas como o Sistema Plantio Direto (EMBRAPA SOJA, 2003).

Para ilustrar o comportamento de uma área sob impacto da atividade agropecuária tem-se utilizado ferramentas como o Sistema de Informação Geográfica (SIG), que possibilitam a compreensão espacial de um fenômeno através da representação do meio físico. O SIG é a integração de equipamentos, metodologias, dados e pessoas (usuário), possibilitando a coleta, o armazenamento, processamento e análise de dados georreferenciados, assim como da produção de informação derivada da sua aplicação (JUNIOR, 2011).

De acordo com Filho e Iochpe (1996) a utilização dos SIGs vem ganhando espaço em todo o mundo, por possibilitarem a melhor gestão de informações e, conseqüentemente, a melhoria nos processos de tomada de decisões em áreas de grande complexidade, como planejamento de municípios, proteção ambiental, entre outros.

A aplicação das tecnologias voltadas para o estudo ambiental auxilia na análise descomplicada e ágil da vulnerabilidade do local mediante ação humana ou até mesmo diante das mudanças naturais ocorridas no próprio ambiente, permitindo o planejamento adequado para áreas que serão manejadas (COSTA et al., 2006). O manejo localizado em determinada área do sistema produtivo, proporcionada por meio da aplicação da Agricultura de Precisão, possibilita o rearranjo das práticas realizadas na propriedade a fim de contemplar os objetivos das Boas Práticas Agropecuárias.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Boas Práticas Agropecuárias.

Trata-se de um conjunto de princípios, técnicas, métodos e recomendações aplicadas no campo a fim de agregar valor nas unidades produtivas por meio de uma agricultura que seja sustentável do ponto de vista técnico, ambiental, social e econômico.

Possuem o objetivo de aumentar a produtividade da área levando em consideração o tripé da sustentabilidade e pensando-se na qualidade do produto final desde o campo até o consumidor. Suas medidas perpassam os recursos naturais, se preocupando desde o solo, água, ar e nutrientes; os recursos humanos, como o produtor rural, o consumidor e os trabalhadores; os animais, se atentando a qualidade e bem-estar do desses; e, os recursos tecnológicos, fazendo-se uso de ferramentas que proporcionam o melhor manejo da área, possibilitando a gestão do tempo, dinheiro e meio ambiente (CATI, 2010).

A preocupação com os componentes ambiental e social foi agregada mais recentemente diante de uma maior conscientização da sociedade civil sobre o impacto negativo que um modelo agrícola que faz uso intensivo de máquinas e insumos químicos provoca no ambiente e na estrutura social rural (JÚNIOR; SCHEFFER, 2013).

Quanto ao viés ambiental, as BPAs vêm como uma postura que propicia uma relação mais equilibrada entre as atividades agropecuárias e os ecossistemas. Segundo Palhares et al. (2013), incentivam a/o:

- *preservação e conservação dos recursos naturais;*
- *redução do potencial poluidor e do custo ambiental;*
- *mitigação dos passivos ambientais;*
- *melhoria da eficiência produtiva;*
- *estabelecimento de indicadores de desempenho ambiental;*
- *cumprimento da legislação ambiental e obtenção de licenças ambientais;*
- *redução dos conflitos entre a atividade produtiva e a sociedade;*
- *esclarecimento do consumidor sobre como o produto é gerado;*
- *desenvolvimento de uma cultura na qual o manejo ambiental é entendido como parte do manejo produtivo.*

Todavia, alguns são os obstáculos que precisam ser suprimidos para que mais propriedades façam uso das BPAs. Como a mudança de hábitos de consumo e de produção com foco na qualidade e segurança dos produtos, melhor difusão entre todos envolvidos no processo de produção, técnicas e ferramentas mais acessíveis e palpáveis aos produtores, entre outros (MAPA, 2013).

4.2 Agricultura de Precisão (AP)

A grande diferença entre o modo convencional de agricultura e a AP é a aplicação de tecnologias da informação na coleta, processamento, análise dos dados de múltiplas fontes de alta resolução espacial e temporal, para a tomada de decisões e operações de gestão de produção vegetal (INAMASU et al., 2011). Para que o controle da propriedade possa apresentar resultados satisfatórios, deve-se inicialmente definir a variável a ser controlada e os fatores que a interferem; analisar o sistema identificando os parâmetros que influenciam no resultado do processo e finalmente atuar para que a variável de interesse seja posicionada dentro de uma faixa desejada. Com isso o ciclo da AP (Figura 2) se reinicia até que sejam exauridos os possíveis impactos negativos daquela atividade.

Figura 2. Ciclo da Agricultura de Precisão.

Fonte: INAMASU et al., 2011.

O melhor manejo das características ambientais relacionadas a prática agrícola da propriedade, como o controle de plantas invasoras, a aplicação de herbicidas, pesticidas e fertilizantes, entre outros, é possível por meio dos instrumentos da AP, que são: as análises de características físico-químicas do solo, como a condutividade elétrica aparente, uso de técnicas de sensoriamento remoto, geoestatística aplicada, modelagem via SIG, veículos aéreos não tripulados (VANTs), entre outros. Tais análises normalmente são realizadas por métodos geoestatísticos e de interpolação, gerando vários mapas ou camadas de interpretação, e pode ser aplicada em distintas categorias de culturas, como as anuais, perenes e semi-perenes (INAMASU; BERNARDI, 2014).

Os equipamentos eletrônicos e de informação começaram a ser empregados nas práticas agrícolas nos meados dos anos 80, mas foi nos anos 90, com o surgimento de novas tecnologias, como o GPS (Sistema de Posicionamento Global) e dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), que a AP difundiu-se mundialmente (RABELLO et al., 2014 apud VAN SCHILFGAARDE, 1999). Neste período surgiu no mercado colhedoras com capacidade de mapeamento da produção, tornando possível a prática de mapeamento e aplicação de insumos à taxa variada por meio de máquinas, facilitando a análise e registro da variabilidade espacial da cultura (INAMASU; BERNARDI, 2014).

Para que a AP possa ser empregada em um local é preciso que haja no mínimo alguma diferença nas características do solo, de maneira que quanto maior a variabilidade maior a chance de se obter retorno econômico e efetividade da intervenção. Em contrapartida, se um sistema de produção apresentar diferença pouco significativa, o retorno econômico seguramente será insignificante ou até negativo. Costa e Guilhoto (2014, p.307) destacam três critérios que devem ser levados em consideração para justificar a utilização desta prática:

- “i) que haja uma significativa variabilidade espacial na fazenda em fatores que influenciam a produtividade;*
- ii) que as causas desta variabilidade possam ser identificadas e mensuradas e;*
- iii) que a informação destas medidas possam ser utilizadas para modificar as práticas visando aumentar o lucro ou reduzir os impactos ambientais.”.*

Segundo Rabello et al. (2014) esta variabilidade espacial é resultante de uma complexa interação de fatores, tais como: biológico (micróbios, vermes etc.), edáfico (salinidade, matéria orgânica, nutrientes, etc.), antrópico (atividades humanas, compactação do solo devido a máquinas agrícolas), topográfico (relevo, elevação) e climático (umidade relativa, temperatura, etc.) (INAMASU; BERNARDI, 2014).

A crescente expansão das atividades humanas sobre o meio ambiente tem gerado aumento expressivo da demanda por tecnologias de manejo ambiental. Nesse sentido, os SIGs (Sistemas de Informação Geográfica) surgem como maneira de suprir a demanda pela necessidade de mapeamento, manejo e monitoramento dos recursos naturais. Uma vez que são ferramentas de armazenamento, disponibilização e manipulação das informações georreferenciadas coletadas em campo.

A modelagem via SIG possibilita a concepção e fusão das camadas de informação referentes aos aspectos físico-químicos do solo, ampliando a capacidade de interpretação dos dados e auxiliando na tomada de decisão para a gestão do sistema de produção. Uma vez que é difícil chegar a uma conclusão plausível analisando um grande número de mapas é interessante que se tenha um cruzamento das diferentes informações geradas, para que assim a intervenção na

área seja eficiente. Destarte, surge o conceito de zonas homogêneas de manejo as quais segundo Luchiari Junior et al. (2000), *“são áreas do terreno de igual produção potencial, eficiência do uso de insumos e risco de impacto ambiental”*.

O mapa das zonas de manejo da área e o conhecimento prévio sobre as características do solo possibilitam maiores chances da adubação e correção do solo ser positiva. Isso garante a produção do sistema e o sucesso daquela atividade na propriedade, uma vez que as práticas de correção de solos, aliadas a um bom manejo de pastagem e adubação, permitem maior longevidade das pastagens (ÁGUA BRASIL, 2015).

Por ser algo relativamente novo no país, a mesma pela recente criação da Comissão Brasileira de Agricultura de Precisão (CBAP) datar do ano de 2012, a de se pensar em meios de tornar esta ferramenta mais acessível para os produtores rurais e de capacitá-los para que não sejam dependentes dos profissionais da área. Para isso o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), elaborou o plano de ação que estabelece as etapas que devem ser seguidas para a aplicação das técnicas de AP. A primeira fase está em andamento com o apoio da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab) e tem a finalidade de identificar quais indústrias, propriedades agrícolas e serviços de assistência técnica, utilizam a ferramenta (MAPA, 2013).

Entretanto, McBRATNEY et al. (2005) destacam a necessidade do desenvolvimento das pesquisas em seis principais áreas, para que as futuras direções do uso da AP sejam mais promissoras. São elas:

- (1) Critérios adequados para a avaliação econômica da AP, é preciso se estabelecer meios para se comprovar que houve uma melhora quanto aos gastos quando se opta por praticar essa técnica, seja por gastos em insumos, equipamentos, softwares, entre outros;
- (2) Reconhecimento e quantificação da variação temporal, uma vez que o histórico de utilização do solo influenciará nas características físico-químicas encontradas atualmente;
- (3) Foco na fazenda como um todo, visto que a área que passará por uma intervenção sofre influência das regiões vizinhas;
- (4) Método de avaliação da qualidade da cultura, para garantir que a intervenção nas características químicas do solo manteve ou até mesmo aumentou a peculiaridades dos produtos;
- (5) Rastreamento de produtos e garantia de qualidade;
- (6) Auditoria ambiental, como forma de incentivo e fiscalização.

O uso da AP pode ser considerado um avanço na produção de alimentos, encaminhando a atividade agrícola para uma via sustentável com base no equilíbrio entre a produção, o ganho econômico e a diminuição dos impactos ambientais pela utilização racional de agroquímicos e

poluentes. Isto, combinado com os conhecimentos acadêmicos e empíricos, torna a postura de gestão e planejamento rural um caminho promissor para a agricultura, embutindo a questão ambiental nas atividades do ramo agrícola.

4.3 Geoestatística

Segundo Oliveira et al. (2015) o termo geoestatística refere-se ao estudo de um fenômeno natural, que pode ser caracterizado pela distribuição no espaço de uma ou mais variáveis, chamadas de “variáveis regionalizadas” formalizadas por Matheron (1971). O estudo destas variáveis tem como objetivo resolver os problemas de estimativa para aqueles locais em que a amostragem não foi realizada com base nos dados medidos. Esta inferência espacial é denominada interpolação, e é fundamentada em ajustes de funções matemáticas locais ou globais. (YAMAMOTO; LANDIM, 2013).

Krüger (2005) resumiu o estudo de geoestatística nos seguintes passos:

- *Análise exploratória dos dados: coleta das amostras a serem analisadas, cálculo de estatísticas básicas e análises de tendências;*
- *Análise estrutural dos dados: análise e inferência de valores correlacionados de uma variável no espaço ou no tempo, chamada de modelagem do variograma;*
- *Realização de inferências: aplicação das técnicas de Krigagem (nome genérico dado ao processo de estimativa baseado na teoria das variáveis regionalizadas) simples e ordinária. Essa etapa é comumente chamada de Krigagem ou simulação.*

Toda análise geoestatística tem como princípio a amostragem de solo, na qual é definida os subconjuntos de valores de uma população, que devem reproduzir a distribuição e a variabilidade espacial dos dados, representando a área que será corrigida e, ou, adubada, para obter aumento de produtividade e melhor aproveitamento de insumos (CANTARUTTI et al., 1999). Para que a amostra de solo seja representativa, a área deverá ser subdividida em glebas ou talhões homogêneos, considerando as características perceptíveis do solo e seu histórico (ALVAREZ, 2003).

Segundo Yamamoto e Landim (2013) a amostragem pode ser categorizada em três tipos: aleatória simples, aleatória estratificada ou sistemática (figura 3). Na amostragem aleatória simples, as coordenadas geográficas são escolhidas aleatoriamente, por meio do sorteio de n valores dentro de uma população sem reposição (figura 3A). A amostragem aleatória estratificada (figura 3B), é caracterizada pela divisão da região a ser amostrada em células de dimensões fixas, e as coletas das coordenadas geográficas é feita de forma aleatória dentro destas

subdivisões. Já na amostragem sistemática (figura 3C), a área total é dividida em células menores georreferenciadas, sendo preenchidas com um valor único, sendo a média dos valores amostrados no interior dessa célula.

Figura 3. Representação esquemática dos tipos de amostragem: aleatória simples (A); aleatória estratificada (B); e sistemática (C).

Fonte: (YAMAMOTO; LANDIM, 2013)

De acordo com Yamamoto e Landim (2013) dos três tipos citados a amostragem sistemática é a que fornece melhor representatividade da área. Pois no primeiro tipo, há áreas que apresentam um agrupamento dos pontos e áreas não amostradas e a segunda situação, aleatória estratificada, não apresenta uma boa distribuição espacial dos pontos.

Os variogramas caracterizam-se por serem uma medida da variância ($\gamma(h)$) das diferenças nos valores da variável regionalizada entre pontos separados por uma certa distância. Pontos mais próximos, por estarem correlacionados, terão essa variância pequena, aumentando à medida que os pontos se distanciam (KRÜGER, 2005). O ajuste dos variogramas aos modelos teóricos, etapa mais importante do estudo geoestatístico, busca descrever continuamente a variabilidade e correlação espacial dos dados, e isso é um processo que envolve várias tentativas e em que a experiência conta muito.

Existem dois tipos de variogramas aqueles com patamar, em que a variância dos dados se estabiliza em uma certa distância; e, os sem patamar, nos quais a variância continua aumentando indefinidamente com a distância (CAMARGO, 2006). As propriedades típicas de um variograma com patamar são as ilustradas na figura 4, a seguir.

Figura 4. Semivariograma experimental com características próximas do ideal.

Fonte: CAMARGO, 2006.

Onde segundo Camargo (2006):

- Patamar (sill): é a distância em que a partir deste ponto considera-se que não existe mais dependência espacial entre as amostras, porque a variância da diferença entre pares de amostras torna-se invariante com a distância;
- Alcance (a): distância dentro da qual as amostras apresentam-se correlacionadas espacialmente. Segundo Journel e Huijbregts (1978) o alcance de um variograma é igual a metade do comprimento da distância máxima entre os pontos amostrados.
- Efeito Pepita (C_0): diferença entre as amostras de maior proximidade e gerada por microrregionalizações, erros de amostragens ou erros de medidas;
- Contribuição (C_1): é a diferença entre o patamar (C) e o Efeito Pepita (C_0).

Embora haja vários modelos de variogramas, alguns são mais comumente encontrados, como o esférico, exponencial e gaussiano. Cujas as equações estão ilustradas na tabela 1.

Tabela 1. Modelos teóricos de variogramas com patamar

Modelo	Equação
Esférico	$\gamma(h) = C_0 + C \left[1,5 h/a - 0,5 (h/a)^3 \right]$ para $h < a$ $\gamma(h) = C_0 + C$ para $h \geq a$
Exponencial	$\gamma(h) = C_0 + C [1 - \exp(-h/a)]$
Gaussiano	$\gamma(h) = C_0 + C \{1 - \exp[-(h/a)^2]\}$

Fonte: OLEA (1999) apud YAMAMOTO; LANDIM (2013).

Quando amostragem é insuficiente ou incompleta, ou quando se observa uma tendência nos dados, o variograma é classificado como “sem patamar”. O modelo que representa esse tipo de variograma experimental é o proposto por Guimarães (2004):

$$\gamma(h) = C_0 + \alpha h^\beta \quad 0 < \beta < 2 \quad (\text{Equação 1})$$

Onde α representa uma constante positiva. Para $\beta=1$, tem-se o variograma linear e para $\beta=0$ tem-se o chamado efeito pepita puro.

A figura 5 ilustra os variogramas citados acima.

Figura 5. Modelos de variogramas com patamar e sem patamar.

Fonte: (GUIMARÃES, 2004).

A qualidade e distribuição da amostra afeta diretamente a interpolação a resultante. Tal inferência espacial é alcançada por meio dos métodos estimadores que podem ser divididos basicamente em duas categorias: os modelos determinísticos, aqueles que têm por base critérios apenas geométricos e não fornecem medidas de incerteza associadas (i.e. o inverso ponderado da distância – IDW); e os modelos estocásticos, nos quais os valores coletados são interpretados como resultados de processos aleatórios e são capazes de quantificar a incerteza presente ao estimador, um exemplo são os modelos geoestatísticos (i.e. krigagem) (YAMAMOTO; LANDIM, 2013).

O termo krigagem, vem da tradução do inglês *kriging*, e foi cunhado pela escola francesa de geoestatística em homenagem ao engenheiro de minas sul-africano e pioneiro na aplicação de

técnicas estatísticas em avaliação mineira, Daniel G. Krige. Este interpolador faz uso da posição geográfica dos dados para a interpolação a partir dos semivariogramas, tendo-se uma noção da variação espacial das variáveis e o alcance da segregação no espaço, em unidades métricas conhecidas, como milhas, quilômetros, entre outros (JAKOB, 2002). Este estimador, utiliza funções matemáticas, correlação espacial e o ajuste dos modelos teóricos para acrescentar pesos maiores nas posições mais próximas aos pontos amostrais e pesos menores nas posições mais distantes, e criar assim os novos pontos interpolados com base nessas combinações lineares de dados (JAKOB, 2002). Como o semivariograma é uma função da distância entre locais de amostragens, mantendo o mesmo número de amostras, os pesos são diferentes de acordo com o seu arranjo geográfico (LANDIM, 2006).

Segundo Landim (2006) e Oliveira et al. (2015) a mais usual metodologia geoestatística disponível é a Krigagem Ordinária. Que é calculada por: tendo um ponto que se deseja estimar, sendo o valor real desconhecido representado por V , o valor estimado (V^*) é calculado utilizando n amostras localizadas segundo coordenadas conhecidas, com valores $x_1, x_2, x_3 \dots x_n$ (conjunto S), de forma linear. Assim:

$$V^* = p_1 x_1 + p_2 x_2 + p_3 x_3 + \dots + p_n x_n, \quad (\text{Equação 2})$$

Onde os p_n são os pesos atribuídos a cada amostra n .

Quando se observa a impossibilidade da interpolação dos dados por meio de uma abordagem metodológica geoestatística, pela incapacidade de se fazer o ajuste dos variogramas, devido à pouca quantidade de amostras realizadas apresentando comportamentos indesejados, duas soluções são possíveis. A primeira é a realização de mais coletas de amostras. Já que segundo Webster e Oliver (1992), considerando parâmetros de solo, são necessárias 100 (cem) amostras de solo para obter uma estrutura aceitável de variograma. E a segunda alternativa seria a aplicação de um método de interpolação determinístico, tal como o Inverso da Distância, Polígonos ou Triangulação.

Segundo Varella e Junior (2008), o método IDW baseia-se na dependência espacial, isto é, supõe que quanto mais próximo estiver um ponto do outro, maior deverá ser a correlação entre seus valores. Dessa forma pesos maiores são atribuídos a amostra mais próximas do que para as amostras mais distantes do ponto a ser interpolado. Assim o modelo consiste em se multiplicar os valores das amostras pelo inverso das suas respectivas distâncias ao ponto de referência para a interpolação dos valores (equação 3).

$$z = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i} z_i}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i}} \quad (\text{Equação 3})$$

Em que,

z = valores estimados;

n = número de amostras;

z_i = valores conhecidos;

d_i = distâncias entre os valores conhecidos e estimados (z_i e z).

A equação 3 pode ser adaptada para incluir uma potência para as distâncias, com isso pode-se atribuir pesos diferentes para a estimativa do valor de uma amostra para uma mesma distância (equação 4).

$$z = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p} z_i}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p}} \quad (\text{Equação 4})$$

Na qual,

z = valores estimados;

n = número de amostras;

z_i = valores conhecidos;

d_i = distâncias entre os valores conhecidos e estimados (z_i e z).

Observando-se a equação 4 verifica-se que foi adicionado uma potência “p” ao inverso das distâncias “ $\frac{1}{d_i}$ ”. Com essa modificação na equação pode-se atribuir diferentes valores a potência “p”, sendo que quanto maior for o valor dessa potência maior será a influência do vizinho mais próximo na estimativa dos valores. De acordo com a equação 2, quanto maior o valor de “Power” maior será a influência dos pontos mais próximos, e com isso terão maior influência no resultado da interpolação.

Vários métodos são utilizados para verificar a qualidade do ajuste do semivariograma aos dados experimentais bem como da interpolação resultante deles. Vieira et al. (1983) sugerem o método de ajuste por tentativa e erro (ajuste a critério do observador) associado à avaliação do modelo pela técnica de Validação Cruzada ou autovalidação (“jack-Knifing”).

A veracidade dos modelos ajustados pode ser medida também: pelo erro médio absoluto, calculado por meio da média das diferenças entre o valor estimado e o valor real dos dados, e quanto mais próximo de zero seu resultado, melhor a análise (CAETANO, 2016); o Coeficiente de Determinação (R^2), que mensura a variação dos dados de acordo com o modelo ajustado em relação à variação total dos dados e quanto mais próximo de 1 (um) estiver o valor de R^2 melhor será o ajuste do modelo (BIASE; SANTANA, 2012); a soma dos quadrado dos erros (RQME), a qual determina o ajuste do modelo teórico ao semivariograma experimental, sendo que quanto menor o valor de RSS, melhor o ajuste (ZIMMERMA; ZIMMERMAN, 1991 apud MIRANDA et al., 2015); e o grau de dependência espacial representado pelo Índice de Dependência Espacial (IDE) proposto por Zimback (2001) que mede a influência dos valores dos dados entre si.

Há também o Coeficiente de Correlação de Pearson (r), que mede a intensidade da associação linear existente entre as variáveis, através da divisão entre os valores reais sobre os preditos (ou estimados), seu índice varia de -1 (menos um) a 1 (um) e sua interpretação segue a tabela a seguir (tabela 2).

Tabela 2. Interpretação do índice do Coeficiente de Correlação de Pearson.

Coeficiente de Correlação	Correlação
$r = 1$	Perfeita positiva
$0,8 \leq r < 1$	Forte positiva
$0,5 \leq r < 0,8$	Moderada Positiva
$0,1 \leq r < 0,5$	Fraca positiva
$0 < r < 0,1$	Íntima positiva
0	Nula
$-0,1 < r < 0$	Íntima negativa
$-0,5 < r \leq -0,1$	Fraca negativa
$-0,8 < r \leq -0,5$	Moderada negativa
$-1 < r \leq -0,8$	Forte negativa
$r = -1$	Perfeita negativa

Fonte: SOUZA, 2016.

4.4 Análise de dados espaciais

Segundo Druck et al. (2004), o entendimento da distribuição espacial de certos fenômenos constitui-se como uma ferramenta que auxilia em diversas questões nas mais diversas áreas do conhecimento. O uso dos Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) têm se tornado cada vez mais comum, pois além da distribuição espacial do problema, traduzem padrões existentes na distribuição dos dados. Combinando, manipulando e aplicando técnicas matemáticas em dados diversos e utilizando a espacialização dos dados, é possível obter conclusões adicionais acerca do problema estudado (CARVALHO; CRUZ, 1998).

A grande quantidade de dados quando classificados ou agrupados em categorias ou grupos facilita sua manipulação e interpretação. Segundo Linden (2009), a análise de agrupamento, ou *clustering*, tem o propósito de separar objetos em grupos, baseando-se nas características que os objetos possuem. A ideia básica consiste em colocar em um mesmo grupo objetos que sejam similares de acordo com algum critério pré-determinado. Neste sentido, tem-se as zonas de manejo as quais auxiliam na tomada de decisões e planejamento do manejo de culturas. Podem ser utilizadas diversas técnicas que envolvem o uso de algoritmos, para separar os dados coletados de uma dada área de amostragem em um número de grupos pré-definidos, apresentando características semelhantes. Existe a possibilidade de gerar o agrupamento, considerando a pertinência de cada valor associado a cada classe, sendo recomendado para esse uso a clusterização *fuzzy* (OLIVEIRA, 2012).

A análise multicritério combina fatores e restrições. O procedimento multiplica os mapas de adequabilidade referentes a cada fator por um peso específico e faz-se o somatório de todos esses fatores, obtendo-se um valor final de adequabilidade, e geralmente usa-se a lógica *fuzzy* para sua normalização. Um conjunto *fuzzy* é caracterizado por uma possibilidade que varia de 0 (zero) a 1 (um) (ou 0 a 255) indicando a não pertença ou pertença completa dos valores a um conjunto (JUNIOR, 2011).

A padronização dos critérios é um processo de conversão dos valores dos dados originais, a fim de compatibilizá-los entre si, ou seja, padronizá-los para uma mesma escala de valores. E a lógica *fuzzy* tem a função de padronizar os fatores que são expressos em uma escala, em outros que após convertidos poderão ser comparados. Várias funções de pertinência *fuzzy* podem ser utilizadas, entre elas, as mais utilizadas são: sigmoidal, j-shaped, linear e definida pelo usuário (ZADEH, 1965; EASTMAN, 1997; CALIJURI, 2000; RAMOS; MENDES, 2001).

Na maioria dos trabalhos aplicados na área ambiental é utilizada a lógica booleana, por ser mais simples. Porém esta apresenta uma falha de 35% quando comparada às análises realizadas

utilizando lógica *fuzzy* (CHARNPRATHEEP; GANER, 1996). Em tal metodologia, para obtenção dos mapas finais, os fatores são combinados pelo procedimento da combinação linear ponderada, onde cada fator é multiplicado por um peso específico e em seguida faz-se o somatório de todos esses fatores, obtendo-se um valor final de adequabilidade. Quando se utiliza restrições, ou seja, mapas booleanos, o procedimento é alterado multiplicando-se a adequabilidade calculada por meio da combinação dos fatores pelo produto das restrições (EASTMAN et al., 1995).

Para correlacionar os fatores, utiliza-se o método de comparação par a par, com a escala fundamental proposta por Saaty (1980), demonstrada na tabela 3, que varia de 1 a 9.

Tabela 3. Escala Fundamental de Saaty.

Valor	Importância	Decisão a ser considerada
1	Igual importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância pequena de uma sobre a outra.	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação à outra.
5	Importância grande ou essencial.	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação à outra.
7	Importância muito grande.	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra, sua dominação de importância é demonstrada na prática.
9	Importância absoluta.	A evidência favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de certeza.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários.	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.

Fonte: OLIVEIRA (2012).

A lógica *fuzzy* tem sido utilizada na agricultura para dar suporte à tomada de decisões. E entre essas aplicações pode-se citar: Silva et al. (2010), que utilizaram a lógica *fuzzy* na avaliação da fertilidade do solo e produtividade do café conilon com base em atributos químicos do solo; Rodrigues Junior et al. (2011), que geraram zonas de manejo para a agricultura por meio dos métodos C-means e *fuzzy* C-means, com base em determinações realizadas com sensor de clorofila e por análise foliar, e avaliaram as zonas de manejo obtidas usando-se os dois métodos de agrupamento; Costa (2011), que usou a geoestatística e a lógica *fuzzy* para estudar a variabilidade espacial e temporal da produtividade e da fertilidade do solo em 3 safras de café conilon, em Cachoeiro de Itapemirim (ES); Bazzi et al. (2013) que indicaram a lógica *fuzzy* como uma boa metodologia para definição de unidades de manejo utilizando as propriedades físicas e químicas do solo e de produtividade; Ramos et al. (2017), que com base na interpolação de atributos químicos e físicos do solo e de plantas de soja utilizando-se o algoritmo *fuzzy* C-means produziram um mapa com dez zonas de manejo para a cultura; Santos et al. (2017), que utilizando a lógica *fuzzy* classificaram os atributos químicos de uma área de produção de cacauzeiros para a concepção de um mapa de fertilidade do solo, possibilitando a avaliação da sua variabilidade espacial, a qual foi correlacionado com os mapas das estratificações da produtividade.

5 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada em um sistema de produção de leite localizado na fazenda da Embrapa Pecuária Sudeste, no município de São Carlos-SP (21°57'15 S e 47°50'53,5 W; 856 m acima do nível do mar). Em área de solo Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico com textura média (CALDERANO et al., 1998). O clima da região é tropical de altitude, com 1423 mm de precipitação pluvial anual e médias de temperatura mínima e de temperatura máxima de 12°C (julho) e de 28°C (fevereiro), respectivamente (CEPAGRI, 2010). A área esteve sob cultivo de capim Tanzânia (*Panicum maximum* cv. Tanzânia) irrigado e sob pastejo há 22 anos. As pastagens são manejadas em sistema rotacionado com 1 dia de pastejo e 32 dias de repouso em épocas de chuvas e secas. Os piquetes são divididos com cercas elétricas em 32 subdivisões de 0,05 há (500m²) cada (figura 6).

Figura 6. Mapa de localização da área de estudo.

Fonte: SANTOS, K.E.L (2015).

Por meio do mapa de altimetria da área (figura 7), derivado do mapeamento do Governo de SP, a área pode ser considerada plana, para a escala de elaboração (1:10.000).

Figura 7. Mapa de altimetria da área de estudo

Fonte: SANTOS, K. E.L. (2016)

A estratégia de amostragem do solo foi baseada na coleta de 6 sub-amostras a 0-0,2m de profundidade para cada piquete e adotado o valor médio de cada parâmetro como centroide, caracterizando uma amostragem sistemática. As propriedades químicas foram determinadas (PRIMAVESI et al., 2005) como segue: as medições de pH do solo foram feitas em CaCl_2 , o carbono orgânico foi determinado por combustão úmida e o P disponível foi avaliado pelo método da resina. Também foram medidos K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e H^+ trocáveis. A capacidade de troca de cátions (CTC) foi medida ao valor de pH real do solo, e a saturação de base (% V) também foi determinada. Adotou-se, para cálculo da necessidade de calagem e adubação com P e K os cálculos realizados pelo *software* Adubapasto (OLIVEIRA et al., 2010).

O mapeamento da variabilidade do solo é possível através do uso da geoestatística, a qual permite a elaboração de mapas baseados na dependência espacial dos dados, resultando em uma realidade mais precisa das características do local. Colaborando para a tomada de decisão para o melhor gerenciamento do sistema de produção e contribuindo para o desenvolvimento sustentável na AP (GREGO et al., 2014). Assim, por meio do *software* ArcGIS® 10.2 (ESRI, 2009) realizou-se a interpolação através do método IDW dos parâmetros químico do solo que não apresentaram correlação espacial para diferentes potências numa mesma distância entre os pontos, e por meio do *software* gS+ (GAMMA DESIGN, 2012) a Krigagem Ordinária.

A precisão do modelo na interpolação foi testada através da Validação Cruzada, a qual se baseia em comparar valores reais com os do resultado de interpolação por meio de parâmetros estatísticos, o que permite avaliar se o modelo escolhido na interpolação garante a previsão precisa (LEUANGTHONG et al., 2004). Para isso, as estatísticas de avaliação adotadas foram:

Erro Médio Absoluto (média dos valores absolutos do erro igual os valores estimados menos valores observados), Coeficiente de Correlação de Pearson (r), Raiz Quadrada do Quadrado Médio do Erro (RQME) e Coeficiente de Determinação (R^2).

Para a concepção das zonas de fertilidade, a partir das interpolações, adotou-se como tabela de referência Raij et al. (1997) (tabela 4).

Tabela 4. Limites de interpretação dos parâmetros químicos do solo.

Classes	Parâmetros químicos							
	pH	MO	P	K	Ca	Mg	CTC	V
	CaCl ₂	g kg ⁻¹	mg dm ⁻³			mmol dm ⁻³		%
Muito Baixa	> 6	<7	0-5	0-7	<4	<1,5	<16	0-25
Baixa	5,5-6	7-20	5-12	7-15	4-12	1,5-4,5	16-43	25-50
Média	5-5,5	20-40	12-30	15-30	12-24	4,5-9	43-86	50-70
Alta	4,3-5	40-70	30-60	30-60	24-40	9-15	86-150	70-90
Muito Alta	<4,3	>70	>60	>60	>40	>15	>150	>90

Fonte: RAIJ et al. (1997).

Devido os valores de referência não serem uniformes, numa mesma unidade, foi necessária a padronização dos dados com uso da lógica *fuzzy*. Tal lógica é usada para evitar a análise tendenciosa, fruto da soma ponderada, e manter uma análise qualitativa dos dados (JUNIOR, 2011). Reclassificou-se cada *layer* em valores que variam de 0 (zero) a 1 (um) por meio da ferramenta “Fuzzy Membership” do *software* de ArcGIS® 10.2 (ESRI, 2009). Agrupou-se as mesmas segundo classificação apontada na tabela 5.

Tabela 5. Classes de interpretação das camadas fuzzy dos parâmetros químico.

Classes de Interpretação	Fuzzy
Muito Baixa	Até 0,2
Baixa	Entre 0,2 e 0,4
Média	Entre 0,4 e 0,6
Alta	Entre 0,6 e 0,8
Muito Alta	Entre 0,8 até 1

Fonte: SANTOS, K.E.L. (2017).

Segundo a escala de Saaty (1980) os valores receberam peso 1, todos com mesma importância, e foram normalizados com função linear. Para junção das novas camadas de dados

utilizou-se a função “Weighted Sum” do mesmo *software* de geoprocessamento. Deste processo, uma nova associação difusa (lógica *fuzzy*) foi realizada.

Os diagramas da modelagem cartográfica utilizados para organizar os dados e apresentar os processos empregados para obtenção dos resultados seguiram propostas de Dobesova (2014). Arquivos de imagens *raster* são representados por retângulos; arquivos vetoriais por triângulos; e processos são mostrados como paralelogramos, com seu nome correspondente em **negrito**. Os processos conectam os arquivos de entrada e saída através de setas, e quando uma operação requer a entrada de dois ou mais arquivos, as setas destes são unidas, formando uma única seta apontando para o símbolo do processo. Com isso, tem-se o modelo cartográfico apresentado a seguir (Figura 8), o qual para fins de otimização e simplificação da representação é mostrado apenas para as variáveis “pH” e “MO”, mas o mesmo se fez para todas as outras variáveis.

Figura 8. Modelo cartográfico empregado.

Fonte: SANTOS, K.E.L (2016).

Foram elaborados mapas de recomendação de calagem e adubação com base em conhecimentos de pesquisadores da Embrapa Pecuária Sudeste, denominados posteriormente como “empíricos”. Que serviram de suporte para comparação com os mapas de interpolação formulados, via Adubapasto, por meio dos coeficientes de correlação já adotados nesta pesquisa. De tal comparação houve a delimitação de unidades de manejo, as quais derivam do método que apresentou melhores resultados. Adotou-se como unidade de manejo o piquete, atribuindo como classe de interpretação aquela que estava presente em maior área.

O fluxograma (figura 9) abaixo apresenta todas as etapas para o desenvolvimento do estudo.

Figura 9. Fluxograma dos processos adotados como metodologia.

Fonte: SANTOS, K. E. L. (2017)

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise descritiva (tabela 6) dos dados possibilita seu melhor quando submetidos a alguma análise. Um conjunto de dados é considerado normal quando os valores teóricos de assimetria e curtose estão em um intervalo de 0 a 3 (CARVALHO et al., 2002), nota-se que os parâmetros K, CTC, V% e Calagem podem ser considerados dentro da normalidade, o que justificaria a não utilização de métodos determinísticos para a interpolação dos dados. Porém, tal panorama se modifica quando se faz a análise gráfica dos dados (figura 10).

Tabela 6. Parâmetros estatísticos das variáveis químicas do solo de uma área de pastagem capim-tanzânia em São Carlos, SP.

Parâmetros estatísticos	Parâmetros Químicos										
	pH	MO	P	K	Ca	Mg	CTC	V	Calagem	SS	KCl
	CaCl ₂	g kg ⁻¹	mg dm ⁻³		mmol dm ⁻³			%		kg ha ⁻¹	
Média	5,1	23,6	33,5	6,7	21,5	9,1	63,4	61,5	1158,9	703,8	143,2
Desvio Padrão	0,2	8,5	21,4	9,85	4,8	3,6	11,5	7,6	460	732,7	109,7
Min	4,3	13	1,9	1,8	13	1	49	37	464,2	0	0
Max	5,5	58	79	49	32	14	93	73	2670,5	2112,6	355
CV (%)	1,3	35,9	63,9	68	22,6	44,1	18,1	12,4	39,7	104,7	76,7
Curtose	0,8	0,8	0,8	2,5	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	-0,7	0,8
Assimetria	0,4	0,4	0,4	2,1	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,7	0,4
N	32	30	32	32	30	31	32	32	32	32	30

Em que: CV(%) = (Média/Desvio Padrão)*100.

Fonte: SANTOS, K.E.L. (2016)

De acordo com a classificação sugerida por Pimentel-Gomes (1990), apenas a variável pH apresenta coeficiente de variação baixo (CV < 10%), CTC e V% apresentaram coeficientes médio (10 < CV < 20%), Ca do tipo alto (20 < CV < 30%), e os demais (MO, P, K, Mg, Calagem, KCl e SS) coeficientes de variação muito alto (CV > 30%). Resultados que fundamentam a aplicação de técnicas de AP, já que para o uso desta prática é preciso haver um mínimo de variabilidade na área em estudo.

Outro método que permite visualizar as características de uma série de dados para uma boa modelagem é a análise gráfica (figura 10), por meio da observação do padrão sazonal, quebras estruturais, possíveis *outliers* e se há necessidade (e possibilidade) de usar transformação logarítmica nos dados. Como uma das propriedades da distribuição normal é que a média somada com duas vezes o desvio padrão é igual ao percentil 97,5 e a média subtraída de 2 vezes o desvio padrão é igual ao percentil 2,5, foram considerados como *outliers* aqueles valores localizados fora do intervalo de confiança (95%) dado por média mais ou menos dois desvios padrões.

Figura 10. Histogramas das variáveis químicas do solo de uma área de pastagem *Panicum maximum* cv. Tanzânia em São Carlos, SP

Figura 10. Histogramas das variáveis químicas do solo de uma área de pastagem *Panicum maximum* cv. Tanzânia em São Carlos, SP

Segundo Yamamoto e Landim (2013), dados que apresentam distribuição normal ou apresentam assimetria negativa não precisam de qualquer transformação dos dados. Dessa forma, pode-se aplicar as análises geoestatísticas diretamente. Já aqueles que apresentam o comportamento do histograma como de assimetria positiva, as interpolações devem ser feitas

com os dados transformados por funções gaussianas, indicadoras ou logarítmica. De todos os parâmetros, apenas potássio (K) passou pela transformação logarítmica dos dados.

Por meio da análise dos semivariogramas (apêndice 2) de cada variável do solo foram geradas as interpolações pelo método da Krigagem Ordinária.

Os casos nos quais não havia correlação espacial entre os pontos amostrados (pH, V% e Calagem), o que se denomina “efeito pepita puro” para a escala amostral realizada, realizou-se as estimativas espaciais por meio do Inverso da Distância Ponderada (IDW). Testaram-se os pesos 1(um), 2 (dois) e 3 (três) em cada variável, e foi atribuído aquele que apresentava os melhores valores de Coeficiente de Correlação de Pearson e de Determinação na Validação Cruzada. Assim, para os parâmetros pH e V% usou-se peso 2 e para a Calagem, peso 3 (Tabela 7).

Tabela 7. Parâmetros de ajuste dos variogramas das variáveis químicas do solo de uma área de pastagem capim-tanzânia em São Carlos, SP.

Variável	Modelo	Efeito Pepita	Patamar	Alcance
pH	Linear	1	1	Efeito Pepita Puro
MO	Esférico	0,02	0,86	79
P	Esférico	0,08	0,72	48
K	Esférico	0,04	1,07	71
Ca	Esférico	0,02	0,99	51
Mg	Esférico	0,05	0,92	60
CTC	Esférico	0,02	1	73
V %	Linear	1	1	Efeito Pepita Puro
Calagem	Linear	1	1	Efeito Pepita Puro
SS	Esférico	0,79	0,86	46
KCl	Esférico	0,25	1,06	48

Em que: Efeito Pepita = C_0 e Patamar = $C_0 + C$.

Fonte: SANTOS, K.E.L. (2016)

A partir da análise do maior Coeficiente de Determinação dos parâmetros estudados, menor Soma de Quadrados de Resíduos (RSS) e da Validação Cruzada, pode-se concluir que os variogramas do tipo esférico apresentaram o melhor ajuste. Além disso, apresentaram ótima representação do comportamento dos dados, uma vez que seus valores de R^2 estão bem próximos a 1 (um) indicando que a medida descritiva da qualidade do ajuste está satisfatória. Segundo Trangmar et al. (1985) o modelo esférico é o que melhor se ajusta para descrever o comportamento de semivariogramas de parâmetros do solo, o que é ratificado pelos variogramas resultantes desta pesquisa (apêndice 1).

O maior alcance observado foi para Matéria Orgânica (79 m), demonstrando que este atributo é o que apresenta menor variabilidade e maior continuidade espacial, garantindo melhor

precisão nas estimativas em locais não amostrados. O menor alcance (46 m) foi observado para a aplicação do Superfostato Simples. A distância mínima entre os pontos amostrais foi de 20 metros; considerando que a metade do menor alcance observado é de 23 metros, pode-se aferir como distância entre pontos amostrais a metade do valor do alcance de forma a constatar a variabilidade espacial do atributo em estudo sem perder precisão nas estimativas, já que continuidade espacial do atributo é mantida (CARVALHO et al., 2002).

Como resultado da Validação Cruzada, avaliou-se a adequabilidade do modelo escolhido para a interpolação, os resultados constam na tabela a seguir (Tabela 8).

Tabela 8. Validação cruzada das variáveis químicas do solo de uma área de pastagem capim-tanzânia em São Carlos, SP.

Variável	R²	RQME	r	IDE (%)		Erro Médio Absoluto
pH	-	-	-	-		-
MO	0,65	5	0,8	98	Forte	3,7
P	0,99	15	0,7	89	Forte	12
K	0,64	9,3	0,8	96,2	Forte	4,7
Ca	0,99	3,6	0,6	98	Forte	2,9
Mg	0,99	2,9	0,7	94,5	Forte	2,1
CTC	0,97	7,1	0,8	98	Forte	5,4
V %	-	-	-	-		-
Calagem	-	-	-	-		-
SS	0,3	0,91	0,995	92,9	Forte	1,23
KCl	0,16	99	0,4	76,4	Forte	79,2

Em que: R² = Coeficiente de Determinação; RQME= raiz quadrada do quadrado médio do erro; r= Coeficiente de Correlação de Pearson; IDE= Índice de Dependência Espacial, $(C/(C+C_0)) \cdot 100$.

Fonte: SANTOS, K.E.L. (2016)

Todos parâmetros apresentaram valores de r (apêndice 2) entre 0,4 e 1, indicando que há uma correlação positiva entre os dados interpolados e os amostrados, alguns – como matéria orgânica, P, K e CTC – forte positiva. Já em relação ao Coeficiente de Determinação, P, Ca, Mg e CTC apresentaram valores próximos de 1 (um), indicando melhor ajuste do modelo a variação dos dados.

Os valores da raiz quadrada do quadrado médio do erro (RMSE em inglês), são comumente usados para expressar a acurácia dos resultados numéricos com a vantagem de apresentar valores do erro nas mesmas dimensões da variável analisada. Willmott (1982) considera RMSE como uma das melhores medidas gerais de desempenho de modelos. Todos parâmetros apresentaram satisfatórios valores de RMSE, já que quanto menor o valor deste coeficiente melhor o ajuste ao modelo teórico do semivariograma experimental (ZIMMERMAN; ZIMMERMAN, 1991 apud MIRANDA et al., 2015).

A partir da leitura dos intervalos do Índice de Dependência Espacial (IDE) dos atributos determinado e classificado segundo Zimback (2001), em que dependência espacial baixa para $IDE < 25\%$; moderada para $25\% < IDE < 75\%$ e, forte para $IDE > 75\%$, todas as variáveis analisadas detêm uma forte dependência espacial entre si, isto é, quanto mais próximo estiver um ponto do outro, maior deverá ser a correlação entre seus valores.

Segundo Lopes (2004), o erro quadrado médio absoluto pode ser definido como sendo a média do quadrado do desvio entre o valor da previsão e da demanda real. Este erro é considerado uma medida importante para a escolha do modelo, já que os maiores desvios resultam em um peso grande para a média, enquanto os baixos valores resultam em um erro menor. Assim, o ideal é adotar como modelo aquele que minimize a média. Todas variáveis apresentaram baixos valores deste parâmetro, indicando que o ajuste dos variogramas estão corretos.

O conhecimento da variabilidade espacial das propriedades do solo proporciona o melhor gerenciamento da área por meio do aumento da eficiência do uso dos fertilizantes e nutrientes disponíveis e assim da produção do local. Por esta perspectiva, como resultado da interpolação dos dados obteve-se os mapas dos parâmetros químicos apresentados a seguir (figura 11) e suas respectivas áreas calculadas (tabela 9). Assim como os mapas de cada parâmetro após aplicado a lógica *fuzzy* (figura 11).

Figura 11. Mapas da distribuição dos parâmetros químicos (pH, Ca, CTC, MO, V%, , Mg, P e K) e do solo de um sistema de pastagem *Panicum maximum* cv. Tanzânia em São Carlos-SP, e seus correspondentes *fuzzy*.

Figura 11. Mapas da distribuição dos parâmetros químicos (pH, Ca, CTC, MO, V%, , Mg, P e K) e do solo de um sistema de pastagem *Panicum maximum* cv. Tanzânia em São Carlos-SP, e seus correspondentes *fuzzy*. (continuação)

Analisando o mapa de pH, nota-se que toda a área apresenta um solo ácido (abaixo de 7), divididos em classes alta (4,3-5) e média (5-5,5), segundo Rajj et al. (1997). Por meio desta variável tem-se o controle da solubilidade dos nutrientes no solo, influenciando a absorção destes pela planta. De acordo com Gomes e Filizola (2006) solos ideais para cultivo devem apresentar pH entre 6,0 e 6,5, mas esta faixa pode ser estendida de 5,5 a 6,8. Dessa maneira, toda a área necessita de uma correção da acidez, com enfoque maior para os 11% que apresentam classificação de 4,3-5, sendo mais ácidas (Tabela 9).

Tabela 9. Áreas das subdivisões dos mapas de fertilidade do solo e suas porcentagens correspondentes em relação à área total de estudo.

Parâmetros químicos		Classes	Área	% em relação à área total
pH	CaCl ₂	4,3-5	0,2	11
		5-5,5	1,5	89
MO	g kg ⁻¹	13-20	0,6	35
		20-40	0,95	56
		40-56	0,15	9
P	mg dm ⁻³	1-5	0,1	6
		5-12	0,1	6
		12-30	0,6	35
		30-60	0,7	41
		60-74	0,2	12
K		2 -7	1,4	82
		7-15	0,08	5
		15-30	0,07	4
		30 - 60	0,1	6
		60 - 62	0,05	3
Ca	mmol dm ⁻³	11-12	0,01	0,6
		12-24	1,4	72
		24-29	0,3	17,4
Mg		<1,5	0,1	6
		1,5-4,5	0,1	6
		4,5-9	0,6	35
		9-13	0,9	53
CTC		49-60	0,8	47
		60-86	0,8	47
		86-93	0,1	6
V	%	37-50	0,02	1,2
		50-70	1,7	97,6
		70-73	0,02	1,2

Fonte: SANTOS, K.E.L. (2016).

Solos que apresentam baixos valores de saturação por base (V%) indicam uma maior adsorção de Al^{3+} e H^{+} e quantidades menores dos cátions básicos (Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^{+}) adsorvidos nos coloides do solo. Solos ácidos, apresentam maior concentração de Al^{3+} comprometendo o desenvolvimento radicular das plantas e menor absorção de água e nutrientes (BRAGA, 2012).

Assim, o V% indica quanto por cento dos pontos de troca de cátions, nos coloides, estão ocupados por bases. Solos com valores menores que 50%, são chamados de solos "distróficos" ou pouco férteis. Estes são conhecidos por apresentarem condições que limitam o enraizamento sob o ponto de vista químico. Na área em estudo, apenas 1,2% (0,02 ha) apresentam tais características (Tabela 9). Já os solos "eutróficos" ou férteis, são aqueles que apresentam valores de saturação por base maiores que 50%. São solos ricos em nutrientes, especialmente Cálcio (Ca), que apresentam condições adequadas para um bom desenvolvimento radicular em profundidade. Representam 98,8% da área (PRADO, 1995).

Segundo a literatura, solos com valores de Ca maiores que 7 (sete) apresentam boas condições de nutrientes para o desenvolvimento das culturas. Dessa forma, toda a área em questão contém altas taxas deste nutriente (Tabela 8). O Ca é um macronutriente importante para o desenvolvimento das culturas. Atua na estrutura da planta, auxilia na disponibilidade dos micronutrientes e na redução da acidez do solo e diminuindo a toxidez do alumínio, cobre e manganês (LABORSOLO, 2013).

Assim como o Ca, o Magnésio (Mg) é considerado um macronutriente e está diretamente relacionado com o potencial de trocas de cátions no solo. A área é classificada em 12% (0,2 ha) como muito baixo e baixos teores desse nutriente, 35% (0,6 ha) teor médio e 53% (0,9 ha) altos teores (Tabela 9). Dos nutrientes existentes, o Mg é essencial na fotossíntese, pois participa dos processos metabólicos como a formação de ATP nos cloroplastos. Atua também na síntese proteica e na formação de clorofila. É imprescindível na formação de raízes, pois aumenta o sistema radicular. A deficiência do magnésio afeta funções e estruturas nas plantas, sendo o nível de clorofila, fotossíntese ou síntese proteica (MOSAIC, 2016).

A Capacidade de Troca de Cátions (CTC) indica o potencial do solo de absorver nutrientes a partir da troca de elementos. Além de ser influenciada pela espécie, quantidade de argila e matéria orgânica e pela superfície específica, também é fortemente alterada pelo pH do meio. Um solo com baixa CTC representa um compartimento com pouca capacidade de reter cátions trocáveis, havendo grande perda de nutrientes por lixiviação. Isto significa que a calagem e a adubação devem ser feitas em pequenas quantidades, ou seja, parceladas, para evitar tais perdas (LOPES; GUILHERME, 2004). De acordo com a classificação de Ribeiro et al. (1999), a área de estudo contém bons índices de CTC, já que são maiores que $8,6 \text{ mmolc/dm}^3$ (Tabela 9).

Segundo Malavolta (1985) apud Schumacher et al. (2003) o fósforo (P) compõe uma das fundamentais fases da vida das plantas, participando da formação dos compostos ricos de energia, como o trifosfato de adenosina (ATP). Estimula o crescimento das raízes e garante uma arrancada vigorosa. As limitações na disponibilidade de P no início do ciclo vegetativo podem resultar em restrições no desenvolvimento, das quais a planta não se recupera posteriormente, mesmo aumentando o suprimento de P a níveis adequados (GRANT et al., 2001). Dessa maneira, segundo Raij et al. (1997) valores de fósforo até 12 mg/dm³ são classificados como baixo, os quais correspondem a 12% (0,2 ha) da área. Ou seja, a área contém uma boa quantidade deste nutriente no seu solo o que pode ser fruto de adubações anteriores, necessitando de pouca correção quanto a este parâmetro.

A quantidade de potássio (K) no solo varia muito, mas em média é maior que a de fósforo e de nitrogênio. Como os solos são formados de materiais de origens diversas é de esperar que as quantidades desse elemento nos solos sejam diferentes, mesmo naqueles que possuem texturas semelhantes (KORNDÖRFER, 2006). Quando se aplica no solo fertilizante potássico na forma solúvel, como o cloreto de potássio, o potássio pode ser primeiramente adsorvido aos colóides do solo e, então, passa para a forma “fixada”, ou pode passar diretamente para ela, da solução. Monteiro (2009) salienta que o K é indispensável à boa produção, à resistência e à sanidade vegetal, ressaltando sua importância presença nas plantas e solos, e é, o segundo nutriente mais consumido como fertilizantes pela agricultura brasileira. Dessa maneira, a área de estudo apresenta pouca quantidade de potássio no solo, uma vez que a maioria da área, 87%, apresenta baixos índices deste nutriente, segundo classificação de Raij et al. (1997) (tabela 9).

Para Islam e Weil (2000) e Conceição et al. (2005) a matéria orgânica (MO) tem sido utilizada como um indicador-chave da qualidade do solo, considerando sua influência nos demais atributos essenciais para que o solo desempenhe suas funções. De acordo com Ciotta et al. (2003), o teor de matéria orgânica, qualidade e teor de argila influenciam diretamente a capacidade de troca de cátions no solo.

Em solos tropicais e subtropicais, a matéria orgânica apresenta uma estreita relação com as demais propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. A permanência de resíduos vegetais sobre a superfície do solo, característica dos sistemas de plantio direto, colabora para a manutenção do nível de matéria orgânica. Uma vez que por não haver a incorporação física destes por meio do revolvimento, há a diminuição da taxa de mineralização (SANTOS et al., 2009). Assim, para a manutenção da capacidade produtiva do solo a longo prazo é crucial o

manejo deste parâmetro (ALVES et al., 2013). Contudo, segundo o Raij et al. (1997), valores de matéria orgânica entre 20 e 40 g/kg são classificados como média e de 40 a 70 g/kg, considerados alto. A área de estudo apresenta boas quantidades de matéria orgânica, uma vez que 65% (Tabela 9) da área total é distribuído entre as classes citadas.

O enfoque quantitativo proporcionado pela modelagem via SIG permite a identificação da fertilidade da área por meio de uma visão qualitativa da mesma (TREVISAN; MOLIN, 2014). Exemplo da sua aplicabilidade são as zonas de manejo.

Segundo Luchiari Junior et al. (2011), as zonas de manejo são áreas de igual potencial de produção, eficiência no uso de insumos e risco de impacto ambiental no terreno, tendo como referência a classificação de Raij et al. (1997). Foram obtidas na área de estudo cinco zonas sendo: 0,02ha (1,2% da área total) considerada como “muito baixa” fertilidade; 0,3ha (18%) “baixa” fertilidade; 0,75ha (44%) como “média” fertilidade; 0,55ha (32%) como “alta” fertilidade e, 0,08ha (4,8%) como “muita alta” fertilidade. Conforme figura 12.

Figura 12. Mapa de fertilidade de uma área *Panicum maximum* cv. Tanzânia em São Carlos-SP.

Fonte: SANTOS, K. E. L (2016)

O mapa de fertilidade do sistema de produção de leite indica que a área em questão apresenta ótimas condições para a produção da pastagem necessária para o sistema produtivo em estudo. O que proporcionará a redução dos custos da produção, a tomada de decisão rápida e certa, o conhecimento das áreas de maior produtividade da lavoura e a melhoria do meio ambiente pelo uso de defensivos de forma mais localizada.

Outro resultado da análise química do solo são os mapas de recomendação para calagem e adubação a taxas variáveis (Figura 13). Por meio destes mapas é possível a aplicação dos insumos a taxa variada nas unidades de aplicação definidas, de forma a possibilitar uma melhor exatidão na compensação realizada tanto pela calagem quanto na adubação (CORÁ; BERALDO, 2006).

Figura 13. Mapas de recomendação de calagem (A) e adubação (B e C) de um sistema de capim-tanzânia em São Carlos – SP.

Fonte: SANTOS, K.E.L (2016)

Estudo feito Albuquerque et al. (2003) demonstra que a aplicação da calagem tem interferência direta nos níveis de pH do solo, assim como nos teores de Ca e Mg trocáveis, a soma de bases (V%) e a CTC, melhorando assim o ambiente edáfico do solo. Para Primavesi et al. (2004) há direta relação entre a aplicação de calagem no solo e seu uso para a produção de fitomassa, pois a correção da acidez do solo gerada no sistema de produção devido a produção de biomassa ocasiona a redução progressiva da produção de matéria seca.

Os mesmos autores alertam para a aplicação do calcário de forma coerente à demanda do solo, já que o uso de grandes quantidades pode acarretar na oxidação intensa da matéria orgânica e redução em seu teor. Resultando no colapso da estrutura do solo, mudança nos seus poros e, consequentemente, na permeabilidade do mesmo. Calculou-se a porcentagem da área encontrada em cada classe (Tabela 10) para o melhor direcionamento da intervenção, indicando que apenas 26% (0,45 ha) da área toda necessita de grandes quantidades de aplicação de calcário.

Tabela 10. Áreas das subdivisões do mapa de Calagem e suas porcentagens correspondentes.

Classe	Área (ha)	% em relação à área total
464 – 905	0,36	21
905 – 1347	0,91	53
1374 - 1788	0,40	23
1788 - 2670	0,06	3

Fonte: SANTOS, K.E.L (2016).

Segundo Weirich Neto et al. (2006) a aplicação de calagem a taxa variável possibilita uma economia de 7,84 t de calcário em uma área de 9,6 ha em relação ao método convencional. Da mesma maneira, a aplicação de calagem em taxas variadas na área em estudo reduzirá a quantidade total de calcário em relação ao método convencional de recomendação. Conforme trabalho de Ragagnin et al. (2010), somente é benéfica tal aplicação utilizando-se o critério prático de não se aplicar doses inferiores a $0,5 \text{ t ha}^{-1}$. Na área de estudo o menor intervalo vai de $0,464$ a $0,905 \text{ t ha}^{-1}$. Dessa forma, segundo tabela anterior X, a aplicação de calcário será benéfica.

A adubação de manutenção, aplicada durante a fase de utilização da pastagem, tem como principal objetivo possibilitar que a cultura forrageira tenha o máximo de produtividade e com o menor custo possível. Nesta fase, o nitrogênio, o potássio e o fósforo são recomendados.

A disponibilidade dos outros nutrientes no solo, bem como da presença de nitrogênio e a acidez do solo tem direta influencia na presença do K. A resposta da forrageira à adubação potássica dependerá da correção não apenas deste fator, mas de um conjunto de intervenções que visam o melhoramento de outras propriedades químicas (COUTINHO et al., 2004).

Em sistemas intensivos de produção recomenda-se a adubação potássica para o estabelecimento e manutenção de pastagens, considerando a disponibilidade de K no solo, segundo Cantarutti et al. (1999) conforme tabela 11.

Tabela 11.Recomendação de adubação potássica para o estabelecimento e manutenção de pastagens em sistemas intensivos de produção, considerando a disponibilidade de K no solo.

Adubação Potássica	Disponibilidade de K no solo		
	Baixa (< 40mg/dm ³)	Média (40 a 70 mg/dm ³)	Boa (> 70 mg/dm ³)
Estabelecimento (kg/ha de K ₂ O)	60	30	0
Manutenção (kg/ha de K ₂ O)	200	100	0

Fonte: CANTARUTTI et al. (1999).

De acordo com o mapa de K (figura 11) e segundo a tabela 10 a área em estudo apresenta baixa disponibilidade de potássio no solo. Assim, recomenda-se a aplicação para manutenção de até 200 kg/ha do adubo no solo, e de 60 kg/ha para o estabelecimento.

Conforme mapa apresentado na figura 12B foi estabelecida a adubação potássica para manutenção em 70% da área, e, aproximadamente, 27% de adubação para o estabelecimento, seguindo recomendação de Cantarutti et al. (1999) (tabela 12).

Tabela 12.Áreas das subdivisões do mapa de KCl e suas porcentagens correspondentes.

Classe	Área (ha)	% em relação à área total
< 50	0,18	11
50 - 100	0,27	16
100 - 200	0,74	43
200 - 300	0,47	28
300 - 411	0,04	2

Fonte: SANTOS, K.E.L (2016).

Sendo o fósforo o nutriente mais importante para a formação de pastagens em solos da região do Cerrado, uma das formas de adubação do mesmo no solo é por meio dos fosfatos solúveis, como o superfosfato simples. Estudos feitos por Oliveira et al. (2000) e Belarmino et al. (2003), comprovam o incremento de produção do capim Tanzânia em virtude da aplicação de P. Tal importância é atestada por Mesquita et al. (2010), em que os autores afirmam que a adubação fosfatada proporciona grande influência no estabelecimento das pastagens sendo sua aplicação responsável por 80% do perfilhamento de espécies forrageiras. Com isso, apenas 10% da área de

estudo necessita de grandes quantidades (de 1,5 a 2,1 t ha⁻¹) de aplicação do superfosfato simples (Tabela 13).

Tabela 13. Áreas das subdivisões do mapa de Superfosfato Simples e suas porcentagens correspondentes.

Classe	Área (ha)	% em relação a área total
0 – 500	0,77	45
500 – 1000	0,56	33
1000 – 1500	0,21	12
1500 – 2150	0,17	10

Fonte: SANTOS, K.E.L (2016).

A variabilidade do solo dentro de um campo de produção influencia diretamente diversos parâmetros como a disponibilidade de nutrientes, o suprimento de água e as condições relacionadas ao crescimento das raízes das plantas. A coleta de dados para o conhecimento da fertilidade do solo é um dos fatores em discussão e limitantes para a AP devido ao tempo despendido e custo das análises. Com uma amostragem planejada, análise geoestatística dos dados e uso de interpoladores adequados reduz-se o número de amostras de modo a se viabilizar a aplicação diferenciada dos fertilizantes (VAZ et al., 2014).

Neste sentido, a comparação dos métodos de interpolação comumente utilizados em trabalhos que envolvem a AP, como a Krigagem Ordinária e o IDW, procurou-se otimizar os resultados de forma a facilitar a utilização dos mapas pelo produtor e por equipamentos responsáveis pela aplicação variada dos corretivos e fertilizantes.

As comparações resultantes da validação simples entre os mapas interpolados e o empírico, em sua totalidade, apresentaram valores de Coeficiente de Correlação de Pearson entre 0,8 e 1, indicando que há uma correlação forte positiva entre os dados interpolados e os amostrados. O mesmo ocorreu em relação ao Coeficiente de Determinação e RQME (Tabela 14).

Tabela 14. Estatísticas de avaliação empregada para comparação de métodos de interpolação de parâmetros de correção e adubação de uma área de pastagem capim-tanzânia em São Carlos, SP.

Comparação		Estatísticas de Avaliação			
		Erro médio absoluto	r	R ²	RQME
Calagem	Empírico x Krigagem	-			
	Empírico x IDW	61	0,8	0,7	0,3
KCl	Empírico x Krigagem	8	0,9	0,8	0,9
	Empírico x IDW	8	0,9	0,8	0,9
Superfosfato Simples	Empírico x Krigagem	3	0,9	0,8	2,5
	Empírico x IDW	-0.1	0,9	0,8	3

Em que: R^2 = Coeficiente de Determinação; RQME= raiz quadrada do quadrado médio do erro; e, r = Coeficiente de Correlação de Pearson.

Como não foi possível realizar a interpolação de Calagem pelo método da krigagem, já que essa variável apresenta o efeito pepita puro e a interpolação baseada em seu semivariogramas apresentaria grande erro associado, houve a delimitação das unidades de manejo decorrente do método determinístico. Destas, 48% da área (15 piquetes) necessitam de uma aplicação de calagem entre 1000 e 1500 kg e apenas 1 (um) piquete necessita da maior dose, entre 2000 e 2670 kg (figura 14A).

Quando interpolados os valores de KCl pelos dois métodos abordados, notou-se a igualdade dos mapas, o que é comprovado pelas estatísticas de avaliação empregadas. Assim, 13 (treze) piquetes necessitam de uma aplicação entre 100 e 200 kg, 8 (oito) de quantias menores que 50kg e apenas 1 (um) da dose maior, entre 300 e 413 kg (figura 14B).

Os dados de Superfosfato Simples quando interpolados tiveram certa semelhança entre a Krigagem Ordinária e o IDW. Quando feito pelo método que leva em consideração a geoestatística, houve maior detalhamento das classes de interpretação, colaborando com trabalho de Grego et al. (2014) em que afirmaram que a obtenção de mapas precisos da variabilidade espacial de fatores envolvidos em AP só é possível utilizando ferramentas como a geoestatística. Assim sendo, as unidades de manejo foram estabelecidas de acordo com o mapa de interpolação por krigagem. Indicando que 12 (doze) piquetes necessitam de uma aplicação entre 0 e 300 kg da adubação e 4 (quatro) necessitam da maior dose, entre 1.500 e 2.150 kg (figura 14C).

Figura 14. Comparação de métodos de interpolação e definição de unidades de manejo.

Fonte: SANTOS, K.E.L. (2017)

Qualquer um dos métodos apresentados poderia ser usado para interpolar valores, excetuando-se nos casos em que houve efeito pepita puro, embora os dados possam ser “forçados” a se adaptarem a determinado método. Mas, se existe um desejo de uma análise mais precisa, de maximizar a potencialidade da análise com um maior embasamento estatístico da seleção do modelo final, deve-se fazer uma análise dos erros dos valores preditos. A Krigagem permite que se faça uma Validação Cruzada para checagem da qualidade do modelo de ajuste selecionado e da interpolação, ou, pelo menos, uma comparação entre valores preditos e observados.

As unidades de manejo por piquete tornam as interpolações dos dados um resultado mais amigável e de melhor entendimento para o profissional que irá intervir na área a taxa variável.

Embora não sendo parte essencial desta dissertação, mas considerando-se a existência de dados foi desenvolvido um estudo do balanço e eficiência do uso de nitrogênio do sistema de leite conforme em anexo.

7 PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS.

Segundo Flores e Alba (2014) o potencial produtivo do solo é determinado por aqueles fatores responsáveis por manter a água no solo e fornecer nutrientes. Assim, seria interessante acrescentar aos parâmetros estudados variáveis relacionadas às características físicas do solo, como textura, estrutura, agregação e sua estabilidade, grau de compactação do solo e densidade. Uma vez que as variações verticais no solo podem ser explicadas pelas às características dos elementos, do sistema de manejo e do sistema solo-planta-atmosfera, e a variabilidade horizontal é consequência da forma de adubação da lavoura (CHITOLINA et al., 1999 apud FLORES; ALBA, 2014).

Somando-se a estes fatores, outro que tem sido fortemente utilizado para definição das zonas de manejo é a condutividade elétrica. A qual tem-se adotado como ferramenta adequada para identificação da variabilidade de acidez e de nutrientes no solo possibilitando delimitar zonas homogêneas, para o manejo de forma diferenciada (VALENTE et al., 2012; ALVES et al., 2013; RABELLO et al., 2014; MOLIN; CASTRO, 2014; SANA et al., 2014).

Uma vez que os dados amostrais presentes nesta pesquisa representam a primeira análise dos parâmetros químicos da área, é interessante a continuidade do monitoramento dos mesmos com o intuito de se formar um banco de dados temporal, com o objetivo de se entender o comportamento dos parâmetros estudados e do solo da área.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O manejo de toda propriedade é crucial para diminuir as perdas de nutrientes tanto advindos da produção animal quanto dos fertilizantes e corretivos aplicados. O fósforo e potássio aplicados no solo nos sistemas de produção animal é, em parte, perdido por lixiviação e erosão, e em parte, exportado nos produtos agrícolas que saem das lavouras. A maior parte destes nutrientes carregados do solo nas águas de escoamento poderão alcançar os rios e depois para os oceanos, perdendo-se dos ecossistemas terrestres.

Por tratar-se de um sistema de uso intensivo, elementos como o fósforo que é excretado nas fezes podem causar poluição quando são erodidos do solo e atingem as águas superficiais, causando a eutrofização. O mesmo pode ocorrer com o nitrogênio e outros nutrientes presentes no solo. Dentre os problemas resultantes deste processo, pode-se citar a alteração da acidez da água (pH), pois consome gás carbônico pela absorção fotossintética variando do dia para a noite. Tal alteração na acidez pode acarretar na morte de determinadas formas de vida aquática, causando um grande desequilíbrio ecológico. Dessa maneira, com a adoção do gerenciamento estratégico das pastagens é possível elevar consideravelmente a sua fertilidade, através do conhecimento dos fatores que limitam este rendimento e prevenir os impactos ambientais negativos no sistema.

Os Sistemas de Informações Geográficas e a geoestatística, ferramentas utilizadas pela Agricultura de Precisão, permitem a avaliação, monitoramento e comparação dos efeitos e comportamento a longo prazo dos sistemas de produção. A possibilidade da espacialização e da compreensão integral dos fatores envolvidos para tomada de decisão agroambiental, deve ser vista como algo de suprema relevância. Já que a variabilidade é uma propriedade inerente de sistemas naturais.

Por intermédio dos mapas temáticos é possível o planejamento agrícola e das operações táticas para reduzir os impactos ambientais negativos, mantendo ou melhorando a produtividade do sistema, otimizando tempo e possibilitando o desenvolvimento racional e sustentável da atividade agrícola. A análise de agrupamento integrada com a caracterização da variabilidade espacial dos atributos do solo é eficaz na definição de zonas de manejo para aplicação de insumos. O conhecimento da distribuição espacial associada à definição de zonas de manejo é uma estratégia válida para aumentar a eficiência do uso dos recursos naturais, reduzir o impacto da agricultura no ambiente e otimizar os custos econômicos para o sistema.

O emprego da lógica *fuzzy* para determinação das zonas de manejo mostrou-se eficiente. Colaborando para a gama de estudos de cunho ambiental e agrícola existentes, promovendo a subtração de possíveis erros, difusão da técnica e melhoria no uso da mesma.

Os resultados dos métodos de interpolação são bons, com alto grau de confiabilidade dos dados, uma vez que se têm os erros associados aos dados preditos. Entretanto diversos deles requerem um razoável conhecimento prévio das técnicas utilizadas para os modelos matemáticos e seus pressupostos, como o conhecimento prévio da normalidade dos dados, estacionaridade, tendências, anisotropia, etc. Foi possível concluir que o melhor método de interpolação para os parâmetros estudados foi a Krigagem Ordinária, uma vez que nessa se leva em consideração o conceito de interdependência das variáveis.

A Agricultura de Precisão proporciona a redução dos custos da produção, a tomada de decisão rápida e certa, além de controlar toda a situação pelo uso da informação. Entre os benefícios também podemos citar a maior produtividade da lavoura e a melhoria do meio ambiente pelo menor uso de defensivos, além de prover registros da área produtiva mais detalhados e úteis.

Contudo, o uso de técnicas de geoprocessamento e métodos geoestatísticos auxiliam fortemente nas decisões estratégicas e complexas em relação ao gerenciamento do sistema e, conseqüentemente, em seus efeitos ambientais, contribuindo para o desenvolvimento sustentável.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA BRASIL. **Agropecuária é a atividade que mais consome água no Brasil**, segundo relatório. 2015. Disponível em <<http://www.agrisustentavel.com/san/bebo.html>> Acesso em 14 de ago. 2015

ÁGUA BRASIL. **Portfólio de Boas Práticas Agropecuárias**. Brasília, DF. 152 p., 2015. Disponível em < <http://www.bb.com.br/docs/pub/siteEsp/uds/dwn/LIVRO1.pdf>> Acesso em 16 set 2016.

ALBUQUERQUER, J.A.; BAYER, C.; ERNANI, P.R.; MAFRA, A.L. & FONTANA, E.C.. **Aplicação de Calcário e Fósforo e estabilidade da estrutura de um solo ácido**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 27:799-806, 2003. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v27n5/v27n5a04.pdf>> Acesso em 27 Dez. 2016.

ALVES, S. M. F.; ALCÂNTARA, G. R.; REIS, E. F.; QUEIROZ, D. M.; VALENTE, D. S. M. **Definição de zonas de manejo a partir de mapas de condutividade elétrica e matéria orgânica**. Bioscience Journal, Uberlândia, v.29, 2013.

BAZZI, Claudio L.. Souza, Eduardo G., Uribe-Opazo, Miguel A., Nóbrega, Lúcia H. P., & Rocha, Davi M... **Management zones definition using soil chemical and physical attributes in a soybean area**. Eng. Agríc., Jaboticabal, v. 33, n. 5, p. 952-964, out. 2013. Disponível em<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162013000500007&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em 29 Mai. 2017

BERNARDI, A. C. C.; BETTIOL, G. M.; INAMASU, R. Y. ; SANTOS, K. E. L. **Spatial variability of soil properties and yield of an alfalfa pasture under grazing in Brazil**. 12th International Conference on Precision Agriculture, 2014. p. 31.

BELARMINO, M. C. J.; PINTO, J. C.; ROCHA, G. P.; FURTINI NETO, A. E.; MORAIS, A. R. de. **Altura de perfilho e rendimento de matéria seca de capim Tanzânia em função de diferentes doses de superfosfato simples e sulfato de amônio**. Ciência e Agrotecnologia, v.27, p.879-885, 2003

BIASE, A. G.; SANTANA, T. V. F. **Geoestatística Análise de dados em outro software Gamma Design gS+**. Pós-graduação em Estatística e Experimentação Agronômica. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. 2012. Disponível em < http://leg.ufpr.br/lib/exe/fetch.php/disciplinas:geoesalq:tiago_gamma_gs_.pdf> Acesso em 20 Mar 2017.

BRAGA, G.N.M. **Porcentagem de Saturação por Bases (V%) na Análise do Solo**. 2012. Disponível em <<http://agronomiacomgismonti.blogspot.com.br/2012/07/percentagem-de-saturacao-por-bases-v-na.html>> Acesso em 3 Jan 2017.

BONATTI, F. K. Q. **Avaliação de sistemas de produção de leite quanto à utilização de nitrogênio e fósforo**, 2014. – Viçosa, MG. Tese de doutorado. Departamento de Zootecnia. Programa de Pós-graduação em Zootecnia.

CAETANO, Marco Antonio Leonel. **Métodos Quantitativos**, 2016. Disponível em <<http://www.mudancasabruptas.com.br/MetQuant5.pdf>> Acesso em 12 Set. 2016.

CALDERANO FILHO, B., SANTOS, H.G., FONSECA, O.O.M., SANTOS, R.D., PRIMAVESI, O. e PRIMAVESI, A.C. 1998. **Os solos da Fazenda Canchim**, Centro de Pesquisa de Pecuária do Sudeste, São Carlos, SP: levantamento semidetalhado, propriedades e potenciais. Embrapa-CPPSE, São Carlos. Boletim de Pesquisa, ISSN 0104-7701, n.2. Disponível em <<http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=BR1998144746>> Acesso em 6 Nov. 2015

CALIJURI, M. L. **Treinamento em Sistemas de Informações Geográficas**. Núcleo SIGEO. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 156p, 2000.

CAMARGO, E.C.G. **Geoestatística: Fundamentos e Aplicações**. 2006. Disponível em <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/tutoriais/gis_ambiente/5geoest.pdf> Acesso em 27 Dez. 2016

CANTARUTTI, R.B.; MARTINS, C.E.; CARVALHO, M.M.; FONSECA, D. M.; ARRUDA, M.L.; VILELA, H.; OLIVEIRA, F.T.T. Pastagens. In: RIBEIRO, C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ, V., V.H. (Org.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p.296-303.

CANTARUTTI, R. B.; ALVARES V. V.H.; RIBEIRO, A. C. **Amostragem do solo**. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARAES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 13-20.

CARNEVALLI, R. A. **Estratégias de manejo rotacionado de pastagens**, 2012. Disponível em <http://pt.engormix.com/MA-pecuaria-corte/nutricao/artigos/estrategias-manejo-rotacionado-pastagens-t1224/141-p0.htm#=_> Acesso em 6 Nov. 2015.

CARVALHO, M. S.; CRUZ, O. G. **Mortalidade por causas externas – Análise exploratória espacial, Região Sudeste/Brasil**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS POPULACIONAIS, 1998, Caxambu-RJ: 1998, Anais..., 19 a 23 de outubro de 1998, CD ROM.

CARVALHO, J. R. P.; SILVEIRA, P. M.; VIEIRA, S. R. **Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 37, n. 08, p. 1151-1159, 2002.

CATI - Coordenadoria de Assistência Técnica Integral. **Boas Práticas Agropecuárias**. São Paulo- 2010.

CEPEA - Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. **PIB do agronegócio brasileiro**. Disponível em <<http://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>> Acesso em 23 Dez 2016.

CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS A AGRICULTURA - CEPAGRI. **Clima dos municípios paulistas - a classificação climática de koeppen para o Estado de São Paulo**, 2010. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_549.html>. Acesso em 18 Ago. 2015

CIOTTA, M. N.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; ERNANI, P. R.; ALBUQUERQUE, J. A. **Matéria orgânica e aumento da capacidade de troca de cátions em solo com argila de atividade baixa sob plantio direto**. Ciência Rural, v. 33, n. 6, p. 1161-1164, 2003

CHARNPRATHEEP, K.; GARNER, B. Z. Q. **Preliminary landfill site screening using Fuzzy geographical information systems**. Waste Management & Research. v. 15, p. 197-215, 1996.

CONCEICAO, P. C.; AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. **Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados**. Rev. Bras. Ciênc. Solo, Viçosa, v.29, n.5, p.777-788, Oct. 2005. Disponível em http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832005000500013&lng=en&nrm=iso. Acesso em 20 Fev 2017.

CORÁ, J. E.; BERALDO, J. M. G. **Variabilidade espacial de atributos do solo antes e após calagem e fosfatagem em doses variadas na cultura da cana-de-açúcar**. Engenharia Agrícola, v.26, p.374-387, 2006.

COSTA, F. H. S.; PETTA, R. A.; LIMA, R. F. DE S. & DE MEDEIROS, C. N. **Determinação da vulnerabilidade ambiental na Bacia Potiguar, Região De Macau (Rn), utilizando Sistemas de Informações Geográficas**. Revista Brasileira de Cartografia, nº 58/02, 2006.

COSTA, F. P. **Uso da geoestatística e da lógica fuzzy no estudo da variabilidade espacial e temporal da produtividade e da fertilidade do solo em café conilon**. Dissertação de mestrado. Programa de pós-graduação em Produção Vegetal-UFES, Alegre, ES, 2011.

COSTA, C. C.; GUILHOTO, J. J. M. **Impactos da agricultura de precisão na economia brasileira**. Agricultura de Precisão. Brasília, DF: Embrapa, p. 307 -313, 2014.

COUTINHO, E. L. M.; FRANCO, H. C. J.; ORIOLI JÚNIOR, V.; PASQUETTO, J. V. G E PEREIRA, L.S. **Calagem e Adubação Potássica para o Capim-Tifton 85**. Biosci. J., Uberlândia, v. 30, Supplement 1, p. 101-111, 2014.

CURY, F. **Agricultura e desmatamento – a produção de alimentos tem culpa?** . 2015. Disponível em <http://projetodraft.com/agricultura-e-desmatamento-a-producao-de-alimentos-tem-culpa/> Acesso em 18 ago 2015.

DE DEUS, R.M.; BAKONYI, S.M.C. **O impacto da agricultura sobre o Meio Ambiente**. Rev. Elet. em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental. V (7), nº 7, p. 1306-1315, MAR-AGO, 2012. Disponível em <http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/reget/article/viewFile/5625/3595> Acesso em 15 Ago 2015.

DOBESOVA, Z. **Data flow diagrams in geographic information system: a survey**. Conference Proceedins SGEM 2014, 14th International Multidisciplinary Scientific GeoConference Volume I, STEF92 Technology Ltd. Sofia, Bulgaria, 541-548.

DRUCK, S.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. V. M. **Análise Espacial de Dados Geográficos**. Brasília, EMBRAPA, 2004.

EMBRAPA GADO DE CORTE. **Boas práticas agropecuárias - bovinos de corte** / Editor técnico Ezequiel Rodrigues do Valle. Ed. 2 -- Campo Grande, MS : Embrapa Gado de Corte, 2007.

EMBRAPA SOJA. **Tecnologias de Produção de Soja, Região Central do Brasil 2003 – Manejo do solo.** Versão eletrônica, 2003. Disponível em <<https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Soja/SojaCentralBrasil2003/manejo.htm#topo>> Acesso em 9 Dez 2016

ESRI (Environmental Systems Research Institute) Inc., **ArcGIS® 10.2: getting started with ArcGIS.** Redlands, ESRI. 2009.

EASTMAN, R.; JIN, W.; KYEM, P. A. K.; TOLEDANO, J. **Rasters procedures for multicriteria/ multi-objective decisions.** Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, v. 61, n. 5, p. 539-547, 1995.

EASTMAN, R. **IDRISI for window: user's guide.** Version 2.0 Worcester: Clark University, 1997.

FILHO, J.L.; IOCHPE, C. **Introdução a Sistemas de Informações Geográficas com Ênfase em Banco de Dados.** XV JAI – Jornada de Atualização em Informática, XVI Congresso da SBC, Recife – PE, 1996. Disponível em <<http://www.dpi.ufv.br/~jugurta/papers/sig-bd-jai.pdf>> Acesso em 28 Dez 2016.

FLORES, C. A.; ALBA, J.M.F. **A Pedologia e a Agricultura de Precisão.** Livro: Agricultura de Precisão- Resultados de um Novo Olhar. Brasília, DF: Embrapa, p. 36-47, 2014.

FONTANA, R.L.M.; COSTA, S.S.; SILVA, J.A.B.; RODRIGUES, A.J. **Teorias demográficas e o crescimento populacional no mundo.** Cadernos de Graduação. Ciências Humanas e Sociais Unit, Aracaju, v. 2, n.3, p. 113-124, 2015. Disponível em <<https://periodicos.set.edu.br/index.php/cadernohumanas/article/view/1951/1209>> Acesso em 18 ago 2015.

GAMMA DESIGN SOFTWARE. gS+: Geostatistics for the Environmental Sciences. **Gamma Design Software,** Plainwell, Michigan USA, 2012. Disponível em: <<http://www.gammadesign.com/>>. Acesso em 06 out. 2015.

GOMES, M. A. F.; FILIZOLA, H. F. **Indicadores físicos e químicos de qualidade de solo de interesse agrícola.** EMBRAPA. Meio Ambiente, 2006. Disponível em <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/Gomes_Filizola_indicadoresID-u1keja1HAN.pdf> Acesso em 28 Dez 2016.

GRANT,C.A.; FLATEN, D.N.; TOMASIEWICZ, D.J. e SHEPPARD, S.C. **A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta.** Informações agronômicas Nº 95, 2001. Disponível em <[http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/43C5E32F5587415C83257AA30063E620/\\$FILE/Page1-5-95.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/43C5E32F5587415C83257AA30063E620/$FILE/Page1-5-95.pdf)> Acesso em 15 Jan 2017.

GREGO, C.R; OLIVEIRA, R.P.; VIEIRA,S.R. **Geoestatística aplicada a Agricultura de Precisão**. Agricultura de Precisão- Resultados de um Novo Olhar. Brasília, DF: Embrapa, p. 74-83, 2014.

GUADAGNIN, J.C.; BERTOL, I; CASSOL, P.C.; DO AMARAL, A. J. **Perdas de solo, água e nitrogênio por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo**. Rev. Bras. Ciênc. Solo vol.29 no.2 Viçosa May/Apr. 2005. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832005000200013> Acesso em 20 Jan 2017.

GUIMARÃES, E.C. **Geoestatística básica e aplicada**. 2004. Universidade Federal De Uberlândia Faculdade De Matemática Núcleo De Estudos Estatísticos E Biométricos. Disponível em < <http://www.ebah.com.br/content/ABAAABLOUAE/geoestatistica-basica-aplicada?part=6>> Acesso 27 Dez 2016.

HANIGAN, M. D. e KNOWLTON, K. F. **Nutritional Approaches to Maximize N and P Efficiency**, 2010. Mid-South Ruminant Nutrition Conference. Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg. Disponível em <http://www.txanc.org/docs/4_Hanigan_Nutritional-Approaches-to-Maximize-NP-Efficiency_FINAL.pdf> Acesso em 27 Dez 2016.

HRISTOV, A. N.; HANIGAN, M.; COLE, A; MCALLISTER, T. A.; NDEGWA, P. M; ROTZ,A. **Review: Ammonia emissions from dairy farms and beef feedlots**. 2010. Disponível em <<http://www.nrcresearchpress.com/doi/pdf/10.4141/CJAS10034>> Acesso em 18 ago 2015.

INAMASU, R. Y.; BERNARDI, A.C. DE C.; VAZ, C.M.P.; NAIME, J.M.; QUEIROS, L.R.; RESENDE, A.V; VILELA, M.F; JORGE, L.A.C.; BASSOI, L.H.; PEREZ, N.B.; FRAGALLE, E.P. **Agricultura de Precisão para a sustentabilidade de sistemas produtivos do agronegócio brasileiro**. Agricultura de Precisão- Um Novo Olhar Brasília, DF: Embrapa, p. 14-26, 2011.

INAMASU, R. Y.; BERNARDI, A. C. C. **Agricultura de Precisão**. Agricultura de Precisão- Resultados de um Novo Olhar. Brasília, DF: Embrapa, p. 21-33, 2014.

IPNI – International Plant Nutrition Institute. **Evolução do consumo aparente de N, P, K e Total de NPK no Brasil**.2015. Disponível em < <http://brasil.ipni.net/article/BRS-3132#evolucao>> Acesso em 4 de Nov de 2015.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. **Soil quality indicator properties in mid-atlantic soils as influenced by conservation management**. J. Soil Water Conser., v. 55, p. 69-78, 2000.

JAKOB, A. A. E. **A Krigagem como Método de Análise de Dados Demográficos**. 2002. XIII Encontro da Associação Brasileira de Estudos Populacionais, realizado em Ouro Preto, Minas Gerais. Disponível em < http://www.abep.nepo.unicamp.br/docs/anais/pdf/2002/GT_SAU_ST3_Jakob_texto.pdf> Acesso em 26 Dez 2016.

JOURNEL, A.G; HUIJBREGTS,Ch. J. **Mining Geostatistics**, 1989. Centre de Geostatistique.Fontainebleau, France. Academic Press. Disponível em < <https://pt.scribd.com/document/261170689/mining-geostatistics-pdf>> Acesso em 26 Dez 2016.

JUNIOR, A.C. **Análise de fragilidade ambiental com métodos multicritério – críticas e proposta metodológica**, 2011. Tese (Doutorado) do Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos. Disponível em <https://www.researchgate.net/profile/Abimael_Cereda_Junior/publication/236157810_Analise_de_Fragilidade_Ambiental_com_Metodos_Multicriterio_-_criticas_e_proposta_metodologica/links/00b7d516814f4e3d96000000/Analise-de-Fragilidade-Ambiental-com-Metodos-Multicriterio-criticas-e-proposta-metodologica.pdf> Acesso 14 Jun 2017.

JÚNIOR, C. C.; SCHEFFER, M. C. **Boas Práticas Agrícolas (BPA) de Plantas Medicinais, Aromáticas e Condimentares**. Curitiba: Instituto Emater, 2013, p.15. Disponível em < <http://portalarquivos.saude.gov.br/images/pdf/2015/agosto/28/bpa-plantas-medicinais-aromaticas-condimentares.pdf>> Acesso em 14 Jun 2017.

KAMIYAMA, A. **Agricultura Sustentável**, 2011. São Paulo. Secretaria do Meio Ambiente/ Coordenadoria de Biodiversidade e Recursos Naturais. Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/wp-content/uploads/publicacoes/sma/13-AgriculturaSustentavel.pdf>> Acesso em 12 set 2016.

KOBAYASHI, R; YAMADA, A.; HIROOKA, H.; TABATA, Y. et. al. **Changes in the cycling of nitrogen, phosphorus, and potassium in a dairy farming system**. Nutrient Cycling Agroecosyst, v.87, p.295-306. 2010.

KOHN, R.A.; DOUW, Z.; FERGUSON, J.D.; BOSTON, R.C. **A Sensitivity Analysis of Nitrogen Losses from Dairy Farm**. Journal of Environmental Manegement. 1997.

KORNDÖRFER, G.H. **Apostila Potássio**. Instituto de Ciências Agrárias – Universidade Federal de Uberlândia, 2006. Disponível em <<http://www.dpv24.iciag.ufu.br/new/dpv24/Apostilas/Transp.%20POTASSIO%20-%20Apostila%2006.pdf>> Acesso em 14 Jun 2017.

KRUGER, C.M. **Análise geoestatística de dados meteorológicos do estado do Paraná utilizando um software livre**. da Vinci, Curitiba, v. 2 , n. 1, p. 87-104, 2005. Disponível em < <http://www.up.edu.br/davinci/2/07.pdf>> Acesso em 27 Dez 2016.

KYLLINGSBÆK, A.; HANSEN, J. F. **Development in nutrient balances in Danish agriculture**. Nutr Cycl Agroecosyst (2007). Springer Science+Business Media B.V.

LABORSOLO. **Macronutrientes: conhecendo o Cálcio**. 2013. Disponível em < <http://www.laborsolo.com.br/site/dris/macronutrientes-conhecendo-o-calcio/>> Acesso em 3 Jan 2017.

LANDIM, P.M.B. **Sobre Geoestatística e mapas**, 2006. Terræ Didatica, 2(1):19-33. Disponível em <<http://www.ige.unicamp.br/terraedidatica/>> Acesso 27 Dez 2016.

LEUANGTHONG, O.; MCLENNAN, J. A.; DEUTSCH, C. V. **Minimum acceptance criteria for geostatistical realizations**. Natural Resources Research, v.13, p.131–141. 2004.

LINDEN, R. **Técnicas de Agrupamento**. Revista de Sistemas de Informação da FSMA, n. 4, p. 18-36, 2009.

LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G. **Interpretação da Análise do Solo - Conceitos e aplicações**. ANDA, São Paulo. Ed. atual. 2004. 51p. Boletim Técnico No 2.

LUCHIARI JUNIOR, A.; et al.. **Strategies for Establishing Management Zones for Site Specific Nutrient Management**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE. Minneapolis: University of Minnesota, 2000

LUCHIARI JUNIOR, A.; BORGHI, E.; AVANZI, J. C.; DE FREITAS, A. A.; BORTOLON, L.; BORTOLON, E. S.O.; UMMUS, M. E.; INAMASU, R. Y.. **Zonas de manejo: teoria e prática**. Brasília, DF: Embrapa, p. 60-64, 2011.

MASCARENHAS, G. C. C. **A atual conjuntura socioeconômica e ambiental da região sul da bahia e a agricultura sustentável como uma alternativa concreta**. in: UZÊDA, M. C.. O desafio da agricultura sustentável: alternativas viáveis para o sul da Bahia– Ilhéus, Ba : Editus, 2004. 131p. Disponível em <http://www.uesc.br/editora/livrosdigitais2015/o_desafio_da_agricultura.pdf> Acesso em 12 Set 2016.

MATHERON, G. **The theory of regionalized variables and its applications**. 1971. École Nationale Supérieure des Mines de Paris. Disponível em <http://cg.ensmp.fr/bibliotheque/public/MATHERON_Ouvrage_00167.pdf> Acesso 26 Dez 2016.

McBRATNEY, A.; WHELAN, B.; ANCEV; T. **Future Directions of Precision Agriculture**. Australian Centre for Precision Agriculture, The University of Sydney, New South, 2005. Disponível em <<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11119-005-0681-8>> Acesso em 15 abr. 2015.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Estudo identifica o uso da Agricultura de Precisão no Brasil**, 2013. Disponível em <<http://www.agricultura.gov.br/comunicacao/noticias/2013/04/estudo-identifica-o-uso-da-agricultura-de-precisao-no-brasil>> Acesso em 15 ago 2015.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Boas Práticas Agropecuárias**, 2015. Disponível em <<http://www.agricultura.gov.br/desenvolvimento-sustentavel/producao-integrada-cadeia-pecuaria/boas-praticas-agropecuarias>> Acesso em 6 Nov 2015.

MESQUITA, E. E.; NERES, M. A.; OLIVEIRA, P. S. R. DE; MESQUITA, L. P.; SCHNEIDER, F.; TEODORO JÚNIOR, J. R. **Teores críticos de fósforo no solo e características morfogênicas de Panicum maximum cultivares Mombaça e Tanzânia-1 e Brachiaria híbrida Mulato sob aplicação de fósforo**. Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal, v.11, p.292-302, 2010.

MIRANDA, C. S.; FILHO, A. C. P.; LASTORIA, G. **Aplicação da geoestatística no estudo da variabilidade espacial da piezometria**. In: Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, João Pessoa – PB. INPE, p. 1923- 1928, 2015.

MILLER, G. T. **Ciência Ambiental**; tradução All Tasks; revisão técnica Welington Braz Carvalho. – São Paulo: Thomson Learning, 2007.

MILLER, R. W.; GARDINER, D. T. **Soils in Our Environment**, 2001. – 9th ed. ISBN 0-13-020036-0.

MOLIN, J.P.; CASTRO, C. N. **Aliada potencial**, 2014. Agricultura de Precisão – condutividade elétrica. Disponível em <http://www.agriculturadeprecisao.org.br/upimg/publicacoes/pub_aliada-potencial--20-08-2014.pdf> Acesso em 14 Jun 2017.

MONTEIRO, I. **Potássio No Solo E Nas Plantas**. Curso de Zootecnia. FACULDADE DE IMPERATRIZ. 2009

MOSAIC Fertilizantes do Brasil. **A importância do magnésio para as plantas**. Nutrição de Safras. 2016. Disponível em <<http://www.nutricaoodesafras.com.br/a-importancia-do-magnesio-para-as-plantas?7258dda8-3796-4e4a-aa05-5362a445b6ab=0>> Acesso em 27 Dez 2016.

NOVAES, L. P.; PIRES, M. D. F. Á. e DE CAMPOS, A.T. **Procedimentos para o manejo correto da vaca gestante, no pré-parto, ao parto e pós-parto**. Disponível em <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/Manejo_de_VacasID-fS00ee88ar.pdf> Acesso em 28 Dez 2016.

OENEMA, J.; KOSKAMP, G.J.; GALAMAJ, P.J. **Guiding commercial pilot farms to bridge the gap between experimental and commercial dairy farms; the project 'Cows & Opportunities'**. Netherlands Journal of Agricultural Science 49 (2001) 277-296.

OENEMA, O.; STEFAN, P. **Nutrient Management in Food Production: Achieving Agronomic and Environmental Targets**. AMBIO: A Journal of the Human Environment 31(2):159-168. 2002. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.1579/0044-7447-31.2.159>> Acesso em 20 Fev 2017.

OENEMA, J.; VAN KEULEN, H.; SCHILS, R.L.M; AARTS, H.F.M. **Participatory farm management adaptations to reduce environmental impact on commercial pilot dairy farms in the Netherlands**. Wageningen Journal of Live Science. V. 58. P. 39-48. 2011.

OLIVEIRA, I. P. DE; CASTRO, F. G. F.; MOREIRA, F. P.; PAIXÃO, V. V. DA; CUSTÓDIO, D. P.; SANTOS, R. S. M. DOS; FARIA, C. D.; COSTA, K. A. DE P. **Efeitos qualitativo e quantitativo da aplicação de fósforo no capim Tanzânia**. Pesquisa Agropecuária Tropical, v.30, p.37-41, 2000.

OLIVEIRA, P.P. et al.. **Software adubapasto 1.0 para recomendação de calagem e adubação para sistemas de pastejo intensivo**. [Recurso eletrônico] São Carlos, SP: Embrapa Pecuária Sudeste, 2010. Disponível em <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/34233/1/Documentos98.pdf>> Acesso em 15 Nov 2016.

OLIVEIRA, F. B. **Utilização da lógica fuzzy na geração de zonas de manejo**, 2014. Espírito Santo: Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias, 2014. Tese (Doutorado em Produção Vegetal).

OLIVEIRA, R. P.; GREGO, C. R.; BRANDÃO, Z. N. **Geoestatística aplicada na Agricultura de Precisão utilizando o Vesper**. 23. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2015. ISBN 978-85-7035-572-0.

PALHARES, J. C. P.; **Eficiência de uso do nitrogênio e do fósforo em um sistema de produção de leite**. 2013. III Simpósio Internacional de Gerenciamento de Resíduos Agropecuários e Agroindustriais. – São Pedro, SP.

PALHARES, J. C. P.; PEDROSO, A.; ZAFALON, L. F.; MENDONÇA, F. C. **Boas práticas hídricas na produção leiteira**. Comunicado Técnico. ISSN 1981-206X. São Carlos, SP. Março, 2013. Disponível em <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/79662/1/Comunicado101.pdf>> Acesso em 20 Jan 2017.

PALHARES, J. C. P.; **Manejo Ambiental de Unidades de Produção Animal**. Cadernos Técnicos de Veterinária e Zootecnia (UFMG), v. 74, p. 78-94, 2014.

PIMENTEL - GOMES, F. **Curso de Estatística Experimental**. 1990. 13ª edição. Livraria Nobel S.A. Piracicaba, Estado de São Paulo, Brasil.

PRADO, H. **A pedologia simplificada**. ARQUIVO DO AGRÔNOMO Nº 1 – 1995 (2ª edição – ampliada e totalmente modificada). Disponível em <http://www2.uefs.br/geotropicos/pedologia_simplificada_95838.pdf> Acesso em 20 Fev 2017.

PRETTY, J. **Agricultural sustainability: concepts, principles and evidence**, 2007. Philosophical transactions of the royal society.

PRIMAVESI, O.; PRIMAVESI, A.C.; CORREA, L.A.; ARMELIN, M.J & FREITAS, A. R. **Calagem em pastagem de *Brachiaria decumbens* recuperada com adubação nitrogenada em cobertura**, 2004. Circular Técnica nº37. ISSN 1516-4111X. Disponível em <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/46362/1/Circular37.pdf>> Acesso em 27 Dez 2016.

PRIMAVESI, A. C.; ANDRADE, A. G.; ALVES, B. J. R.; ROSSO, C.; BATISTA, E. M.; PRATES, H. T.; ORTIZ, F. R.; MELLO, J.; FERRAZ, M. R.; LINHARES, N. W.; MACHADO, P. L. O. A.; MOELLER, R.; ALVES, R. C. S.; SILVA, W. M. **Métodos de análise de solo**. In: NOGUEIRA, A. R. A.; SOUZA, G. B. Manual de laboratórios: Solo, água, nutrição vegetal, nutrição animal e alimentos. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2005. p. 67-130

RABELLO, L.M.; BERNARDI, A. C. C.; INAMASU, R. Y. **Condutividade elétrica aparente do solo**. Agricultura de Precisão- Resultados de um Novo Olhar. Brasília, DF: Embrapa, p. 48-57, 2014.

RAIJ, B. VAN; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A & FURLANI, A.M.C. **Recomendação de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2.ed.rev.atual. Campinas, Instituto Agronômico/Fundação IAC, 1997.

RAGAGNIN, V. A.; SENA JÚNIOR, D. G.; SILVEIRA NETO, A. N. **Recomendação de calagem a taxa variada sob diferentes intensidades de amostragem**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.14, p.600-607, 2010.

RAMOS, R. A. R.; MENDES, J. F. G. **Avaliação da aptidão do solo para localização industrial: o caso de Valença**. Revista Engenharia Civil, Minho, Portugal, n. 10, Universidade do Minho, 2001. p. 7-29.

RAMOS, F. T.; SANTOS, R. T.; CAMPELO JÚNIOR, J. H.; MAIA, J. C. S. **Defining management zones based on soil attributes and soybean productivity**. Rev. Caatinga, Mossoró, v. 30, n. 2, p. 427-436, June 2017. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1983-21252017000200427&lng=en&nrm=iso> Acesso em 29 Mai 2017

RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359p.

RODRIGUES JUNIOR, F. A.; VIEIRA, L. B.; QUEIROZ, D. M.; SANTOS, N. T. **Geração de zonas de manejo para cafeicultura empregando-se sensor SPAD e análise foliar**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, PB, v. 15, n. 8, p. 778–787, 2011.

ROTZ, C.A. **Management to reduce nitrogen losses in animal production**. Journal of Animal Science.2003.

SÁ, C. D. **A importância da adoção de práticas de gestão na propriedade rural**, 2011. Disponível em <http://www.agrodistribuidor.com.br/publicacao.php?id_item=73> Acesso em 12 set 2016.

SAATY, T. L., 1980. Analytical Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation. McGraw-Hill, New York, NY, USA. In: OLIVEIRA, Fabricia Benda de. **Utilização da lógica fuzzy na geração de zonas de manejo**, 2014. Espírito Santo: Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias, 2014. Tese (Doutorado em Produção Vegetal).

SANA, R. S.; ANGHINONI, I.; BRANDAO, Z. N.; HOLZSCHUH, M. J. **Variabilidade espacial de atributos físico-químicos do solo e seus efeitos na produtividade do algodoeiro**. Rev. bras. eng. agríc. ambient. [online]. 2014, vol.18, n.10. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662014001000002&lng=en&nrm=iso> Acesso 14 Jun 2017.

SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; SPERA, S. T.; TOMM, G. O. **Efeito de sistemas de produção integração lavoura-pecuária (ILP) sobre a fertilidade do solo em plantio direto**. Acta Scientiarum. Agronomy (Online), Maringá, v. 31, p.719-727, 2009. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1807-86212009000400025&lng=en&nrm=iso> Acesso em 20 Jan. 2017.

SANTOS, R. O.; FRANCO, L. B.; SILVA, S. A.; SODRÉ, G. A.; MENEZES, A. A. **Spatial variability of soil fertility and its relation with cocoa yield**. Rev. bras. eng. agríc. ambient., Campina Grande, v. 21, n. 2, p. 88-93, fev. 2017. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662017000200088&lng=pt&nrm=iso> Acesso em 29 Mai 2017

SBCS - Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina** - 10. ed. – Porto Alegre, 2004. Disponível em < http://www.sbcnrs.org.br/docs/manual_de_adubacao_2004-versao_internet.pdf> Acesso em 20 Jan 2017.

SCHUMACHER, M.V.; CECONI, D.E.; SANTANA, C.A. **Influência de Diferentes Doses de Fósforo no Crescimento de Plantas de *Peltophorum dubium* (Sprengel) Taubert.** Bol. Pesquisa Florestal, Colombo, n.47, p. 99-114, 2003. Disponível em <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPFF-2009-09/34889/1/pag-99-114.pdf>> Acesso 15 Jan 2017.

SILVA, A. S.; LIMA, J. S. S.; SOUZA, G. S.; OLIVEIRA, R. B.; **Variabilidade espacial de atributos químicos do solo cultivado com café arábica (*Coffea arabica*) sob diferentes manejos.** Coffee Science, Lavras, v. 5, n. 2. p. 173 - 182, 2010.

SOUZA, A. 2016. **Coeficiente de Correlação Linear de Pearson.** Disponível em <http://www.aurea.uac.pt/pdf_MBA/coef_correl_Pearson.pdf> Acesso em 12 Set 2016.

TAMMINGA, S. **A Review on Environmental Impacts of Nutritional Strategies in Ruminants.** 1996. J. Anim. Sci. Disponível em <<http://agron-www.agron.iastate.edu/Courses/agron515/Energy%20and%20animal%20production.pdf>> Acesso em 10 Set 2016.

TAMMINGA, S.; VERSTEGEN, M.W.A. **Implications of nutrition of animals on environmental pollution.** In: RECENT ADVANCES IN ANIMAL NUTRITION, 1996, Butterworth-Heinemann Ltd. Garnsworthy, P.C.; Haresign, W. Cole, D. J. A.1992, 223p

TIERI, M.P. et al. **Evaluación de la sustentabilidad de un tambo de alta productividad con especial énfasis em los aspectos ambientales.** 2014 Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria – INTA.

TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; UEHARA, G. **Application of geostatistics to spatial studies of soil properties.** Advances in Agronomy, v. 38, p. 45-94, 1985.

TREVISAN, R. G.; MOLIN, J. P. **Sistemas de Informação Geográfica (SIG) para Agricultura de Precisão.** Boletim Técnico 01. Laboratório de Agricultura de Precisão – LAP. USP/ESALQ, 2014. Disponível em <<http://www.agriculturadeprecisao.org.br/upimg/publicacoes/agricultura-de-precisao---boletim-tecnico--02-12-2014.PDF>> Acesso em 10 Jan. 2017.

UZÊDA, M. C. **O desafio da agricultura sustentável: alternativas viáveis para o sul da Bahia**– Ilhéus, Ba: Editus, 2004. 131p. Disponível em <http://www.uesc.br/editora/livrosdigitais2015/o_desafio_da_agricultura.pdf> Acesso em 12 Set 2016.

VARELLA, C.A.A.; JUNIOR, D. G. S. **estudo do Interpolador IDW do ArcView para Utilização em Agricultura de Precisão.** Departamento de Engenharia, 2008. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Disponível em <http://www.ufrrj.br/institutos/it/deng/varella/Downloads/IT190_principios_em_agricultura_de_precisao/Aulas/Estudo%20do%20interpolador%20idw%20arcview.htm> Acesso em 24 Abr de 2015.

VAZ, C. M. P.; INAMASU, R. Y.; SANTOS, K. E. L.; BETTIOL, G. M.; BERNARDI, A. C. C. **Variabilidade espacial de parâmetros físicos do solo em área de pivô e correlações com a produtividade do milho para silagem.** In: Simpósio Nacional de Instrumentação Agropecuária - SIAGRO, 2014, São Carlos. Anais. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2014.

VALENTE, D.S.M.; QUEIROZ, D.M.; PINTO, F.A.C.; SANTOS, N.T.; SANTOS, F.L. **Relação entre condutividade elétrica aparente e propriedades do solo.** 2012. Revista Ciência Agronômica, v.43, n.4. Disponível em <<http://www.ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/1779>> Acesso em 14 Jun 2017.

VIEIRA, S. R.; HATFIELD, J. L.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. **Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties.** Hilgardia. Berkeley, v. 31, n.3, 1983. 75 p. Disponível em <<http://ucanr.edu/repository/fileaccess.cfm?article=152848&p=NSZLCD>> Acesso em 27 Dez 2016.

WEBSTER, R.; OLIVER, M. A. **Sample adequately to estimate variograms of soil properties.** Soil Science, Philadelphia, v.43, n.1, p.117-192, 1992.

WEIRICH NETO, P. H.; SVERZUT, C. B.; SCHIMANDEIRO, A. **Necessidade de fertilizante e calcário em área sob sistema plantio direto considerando variabilidade espacial.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.10, n.2, p.338-343, 2006.

WILLMOT, C. J. **Some Comments on the Evaluation of Model Performance.** Bulletin of the American Meteorological Society, v. 63, p. 1309-1313, 1982.

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

ZANDEH, L. A. **Fuzzy sets.** Information and control. v. 8. p. 338-353, 1965.

ZIMBACK, C. R. L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade.** 2001. 114 f. Tese de Livre-Docência) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

Anexo

BALANÇO E EFICIÊNCIA DO USO DE NITROGÊNIO EM UM SISTEMA PRODUTIVO LEITEIRO

A gestão ambiental vem ganhando destaque nas atividades agropecuárias, tornando-se um diferencial atraindo a atenção de diferentes grupos de interesse, como autoridades, organizações ambientais e comunidade em geral. Este gerenciamento da unidade produtiva visa à sustentabilidade do mesmo, ou seja, pensa-se nos benefícios econômicos, a partir da redução do consumo de água, fertilizantes, entre outros, além do aumento da eficiência no uso dos insumos; os ambientais, uma vez que aumentando a produtividade da área por meio de vias menos agressivas ao meio assegurando sua capacidade de suporte; e os sociais, a partir da otimização da mão-de-obra e o investimento na capacitação dos empregados e produtores, por exemplo.

Neste sentido, surgem as Boas Práticas Agropecuárias que se apresentam como uma solução para a minimização dos impactos ambientais negativos provindos deste setor econômico, porém vale-se ressaltar que tais medidas se tomadas apenas localmente podem não apresentar os efeitos que se espera. Uma maneira de garantir suas eficácias é realizar um manejo ambiental da propriedade. Este manejo envolve uma visão sistêmica da propriedade, se atentando aos aspectos dos resíduos, hídricos e do manejo do solo com o objetivo de garantir o melhor proveito de todos os recursos utilizados e suas eficiências e tendo como apoio as legislações ambientais (PALHARES, 2014). Segundo Oenema e Stefan (2002), um dos mais importantes objetivos dos sistemas de agricultura sustentável é a eficiência de uso dos nutrientes, pois o uso ineficiente resulta em um baixo desempenho econômico e também prejuízos ambientais.

Dessa forma, tendo-se ampliado a aplicação de novas tecnologias nos sistemas de produção e consolidação dos rebanhos em áreas cada vez menores, cria-se à necessidade de aumentar o fluxo de insumos no processo produtivo e o gerenciamento dos resíduos gerados, o que se não feito de forma organizada pode comprometer a sustentabilidade dos sistemas. (BONATTI, 2014) Estudos têm demonstrado que em países onde a pecuária leiteira é altamente intensiva, alguns nutrientes, especificamente o nitrogênio e o fósforo, provenientes dos dejetos dos animais são os maiores responsáveis por processos de eutrofização de águas superficiais (TAMINGA, 1996; HRISTOV et. al., 2010). Assim, a avaliação da sustentabilidade através de indicadores ambientais, econômicos e sociais é uma alternativa viável como ferramenta para tomada de decisão.

Um dos indicadores ambientais que pode ser utilizado nos sistemas de produção de leite é o balanço de nutrientes. Ele é uma estimativa que usa os registros e dados de nutrientes da

propriedade, contabilizando os nutrientes que entram (inputs) no sistema por meio da fixação de N (estimada), de fertilizantes, de alimentos e animais, e as saídas (outputs) do sistema, como venda de produtos (leite, carne), animais e dejetos. A diferença entre inputs e outputs representa o balanço de nutriente. Além deste, há outros indicadores de maior complexidade, que são utilizadas para a investigação tecnologia de processo e comércio de produtos em diferentes mercados mundo, tais como o consumo de água e as emissões de efeito gases de estufa na forma de "pegadas" (TIERI et al., 2014). Com essas informações em mãos, produtores e técnicos podem adotar medidas que visem à redução das emissões e fontes de contaminação ambiental, bem como os gastos econômicos desnecessários.

Contudo, estudos analisem a eficiência de utilização do nitrogênio e fósforo em sistemas de produção de leite se mostram promissores, em vista da importância de se conhecer o fluxo dos nutrientes presentes no sistema e assim podendo-se prever possíveis impactos ambientais. Assim, esta pesquisa procurou avaliar a eficiência do uso de nutrientes em um sistema de produção de leite a pasto intensivo, situado na fazenda da Embrapa Pecuária Sudeste do município de São Carlos – SP, através do cálculo do balanço de nutrientes (especificamente de nitrogênio e fósforo) do sistema de produção, análise econômica do custo de produção, e a análise da sensibilidade do sistema de leite frente a cenários futuros hipotéticos.

O experimento foi realizado no período de Abril/2015 à Março/2016 e era composto por um total de 14 (quatorze) bovinos de leite, distribuídos entre raça holandesas e Jerseys. A dieta dos animais era composta por milho moído, farelos de soja, silagem de milho e pastagem *Panicum maximum* cv. Tanzânia. Os animais eram ordenhados duas vezes ao dia e ao término da ordenha os quatorze animais eram conduzidos para um único piquete que compõem o pastejo intensivo rotacionado, com acesso à pastagem.

Para a execução do balanço e eficiência do uso de nitrogênio os *inputs* necessários foram: área do sistema de produção, número médio de animais, consumos médios de matéria seca e nitrogênio, quantidades de alimentos utilizados na alimentação animal, quantidades de nitrogênio utilizado na fertilização das culturas, produção média de leite dos animais, porcentagem de proteína no leite. Os *outputs* gerados foram: balanço de nutrientes e eficiência de utilização do nitrogênio sistema de produção.

Os cálculos para os outputs, baseados em Oenema et al. (2001) e Kyllingsbæk e Hansen (2007), foram:

Nitrogênio presente nos alimentos:

Para a estimativa da quantidade de nitrogênio presente na ração, consultando os dados tabulados de nitrogênio presente na proteína bruta embutida na matéria seca para o milho como concentrado energético no site da CQBAL, foram seguidos os seguintes passos:

$$\text{Passo 1.} \quad \begin{array}{c} \text{Número de} \\ \text{animais} \end{array} \times \begin{array}{c} \text{Quantidade} \\ \text{ração/cabeça} \end{array} = \begin{array}{c} \text{Quantidade de} \\ \text{ração/dia} \end{array} \quad \text{(Equação 5)}$$

$$\text{Passo 2.} \quad \begin{array}{c} \text{Quantidade x} \\ \text{kgN/dia} \end{array} = \frac{\begin{array}{c} \text{Quantidade de N} \\ \text{presente na ração} \\ \text{produzida} \end{array} \times \begin{array}{c} \text{Quantidade de ração} \\ \text{consumida/dia} \end{array}}{\begin{array}{c} \text{Quantidade de ração} \\ \text{produzida} \end{array}} \quad \text{(Equação 6)}$$

$$\text{Passo 3.} \quad \begin{array}{c} \text{kg N ração} \\ \text{/mês} \end{array} = \begin{array}{c} \text{x kg N/dia} \end{array} \times \begin{array}{c} \text{Número de dias} \\ \text{do mês} \end{array} \quad \text{(Equação 7)}$$

Para o cálculo do nitrogênio contido na silagem da matéria seca fornecida aos animais, fez-se uso da seguinte equação:

$$\begin{array}{c} \text{kg N} \\ \text{silagem/dia} \end{array} = \frac{\left\{ \left(\begin{array}{c} \text{Silagem da} \\ \text{Matéria Seca} \\ \text{natural} \end{array} \times \begin{array}{c} \text{Número de} \\ \text{animais} \end{array} \times \begin{array}{c} \text{Silagem da} \\ \text{Proteína Bruta} \end{array} \right) \times \text{kg PB} \right\}}{6,25} \quad \text{(Equação 8)}$$

$$\begin{array}{c} \text{kg N} \\ \text{silagem/mês} \end{array} = \begin{array}{c} \text{kg N} \\ \text{silagem/dia} \end{array} \times \begin{array}{c} \text{Número de dias} \\ \text{do mês} \end{array} \quad \text{(Equação 9)}$$

Nitrogênio presente na adubação aplicada na área:

Realizou-se em dois ciclos a adubação, no verão (Dezembro/2014 a Março/2015) e no inverno (Julho/2015 a Setembro/2015). Mensurada considerando 92 dias de inverno (01/07 a 30/09) = 30% do ano (365 dias menos 62 dias, abril e maio sem adubação = 303 dias) x 600 kg/ano/ha (recomendação de N para o ano todo) = 180 kg/ha no inverno/3 ciclos (uma adubação por mês). Como foi aplicado 180 kg de N/ha (recomendação do ciclo de inverno) e a recomendação total era de 600 kg de N por hectare, restou 420 kg de N/ha para serem aplicados no verão, o qual foi realizado em três ciclos – julho, agosto e setembro/2015.

Nitrogênio presente na pastagem:

$$\text{kg N na pastagem} = \left\{ \frac{\left(\frac{\text{Número de animais} \times \text{Matéria Seca X Ingerida (kg)} \times \text{Proteína Bruta da Matéria Seca (kg)}}{6,25} \right)}{\text{Número de dias}} \right\} \quad (\text{Equação 10})$$

Nitrogênio presente no leite baseado na Matéria seca:

Os teores de nitrogênio foram mensurados por meio do porcentual de teor de proteína presente em amostras analisadas pela Clínica do Leite - ESALQ/USP, assim:

$$\text{kg N no leite} = \frac{\left(\frac{\text{Produção de Leite/dia} \times \text{Número de dias do mês} \times \text{kg PB}}{6,25} \right)}{\quad} \quad (\text{Equação 11})$$

O balanço dos nutrientes foi calculado pela diferença entre a quantidade de nitrogênio que entra no sistema de produção através dos alimentos e fertilizantes, e a saída de nitrogênio por meio da produção de leite.

A eficiência de utilização do nitrogênio (N) no sistema foi calculada de acordo com a equação adaptada sugerida por Palhares (2013):

$$EU = \frac{S_{\text{leite}}}{(E_{\text{alimento}} + E_{\text{fertilizantes químicos}})} \times 100 \quad (\text{Equação 12})$$

No qual:

EU – Eficiência de Uso de Nitrogênio (%)

S_{leite} – Saida de Nitrogênio na forma de leite (kg)

E_{alimento} – Entrada de Nitrogênio na forma de alimento (kg)

$E_{\text{fertilizantes químicos}}$ – Entrada de Nitrogênio pelos fertilizantes químicos (kg)

No decorrer do experimento passaram no sistema de produção de leite, aproximadamente, 21 animais sendo entre vacas secas, novilhas e vacas em lactação. Destas 14 eram as selecionadas para o experimento, sendo vacas em lactação. A produção total de leite no período foi de 3.564 kg, sendo 2.084 kg de leite/ha, com média de 254,6 kg de leite/vaca em lactação (figura 13). O comportamento do gráfico de produção de leite acompanha os ciclos de lactação

de cada animal, que é de, aproximadamente, 10 meses (NOVAES et. al., 2016). Os baixos valores nos meses de abril, fevereiro e março são resultantes da quantidade de animal presente no experimento.

Figura 15. Gráfico da Produção de Leite (L/mês)

Fonte: SANTOS, K.E.L. (2016).

A maior parte do nitrogênio presente no sistema entra na forma de ração (41,8%) e sai totalmente na forma de leite (tabela 15). Nota-se na mesma tabela, que o balanço do N no sistema em kg/ano foi elevado, demonstrando que grande parte desse nutriente permanece no sistema, e que provavelmente será perdido na forma volatilização da amônia (NH_3), lixiviação e escoamento do nitrato (NO_3^-). Uma vez que segundo Kobayashi et al. (2010) grandes saldos positivos no balanço do nitrogênio resultam no passivo ambiental deixado pela produção de leite.

O balanço de N em kg/área/ano indica que altas quantidades de N estão sendo incorporadas no sistema por meio de adubação química. O que pode acarretar em um acúmulo do mesmo no solo, diminuindo assim a eficácia desta intervenção. Já que segundo Kelling et al (1998) apud Bonatti (2014), a planta aproveita aproximadamente 45% do N disponível no solo oriundo dos dejetos, sendo que 30% está disponível no primeiro ano de aplicação, 10% no segundo, e 5% no terceiro ano após a aplicação.

Tabela 15. Entradas, saídas, balanço e eficiência do uso do nitrogênio nos sistemas de produção.

	Itens	kg/ano	%	kg/ha/ano
ENTRADAS	Adubação N (kg/ha)	1524	29,4	891,2
	N ração (kg)	1445,6	42	845,4
	N silagem (kg)	382,6	5,5	224
	N pastagem (kg)	870,3	23,1	509
SAÍDA	N leite (kg/l)	79,41	100	46,4
Balanço		3378	-	1975,4
Eficiência (%)		-	2,11	1,88

Fonte: SANTOS, K.E.L. (2016)

A baixa eficiência do sistema está relacionada, provavelmente, com a alta produção de dejetos, pois segundo Tamminga e Verstegen (1996) em vacas leiteiras de 70 a 75% do nitrogênio da dieta é excretado via urina e fezes. Segundo os mesmos autores, o N é perdido na forma de volatilização da amônia em até 30% nos processos de coleta, armazenamento e distribuição, 25% pela desnitrificação e lixiviação do nitrato, e 20% após a planta ter utilizado o N disponível no solo proveniente dos dejetos. E de acordo com Hanigan e Knowlton (2010) apenas um terço do N absorvido pelos animais é usado para a produção de leite.

A excreção de nitrogênio está diretamente relacionada à ingestão de N. Neste sentido, Rotz (2003) sugere duas estratégias para reduzir a excreção deste nutriente. A primeira é através da eficiência de alimentação de proteínas. E a segunda é por meio do melhoramento da qualidade produtiva. À medida que mais produtos são gerados por animal, a necessidade de manutenção de proteína por unidade de produção é reduzida. Assim, o produto animal pode ser produzido com menos N consumido e excretado.

Para Oenema et al. (2011) sistemas com balanço de nutrientes elevados podem melhorar suas eficiências por meio da utilização de manejos que consideram técnicas de nutrição de precisão, diminuição do uso de fertilizantes minerais, aproveitamento dos resíduos gerados e da melhoria da produção de leite por animal.

A relação entre manejo nutricional e das excretas e a melhor eficiência do uso de nutrientes já foi demonstrada por Kohn et al. (1997). Um dos resultados do estudo foi a concepção de três cenários baseados na sensibilidade de perda de nitrogênio. Em um dos cenários a introdução de um sistema de gestão gerou a reciclagem de nitrogênio pela colheita diminuindo a quantia de fertilizantes minerais necessário. As perdas foram de 10,2 unidades por unidade de N capturado no produto animal. Já quando simulado o melhoramento na eficiência nutricional do rebanho, o

consumo de nitrogênio é menor para a produção de leite tendo a mesma quantidade. Como resultado, há menos estrume a ser manejado, devido o menor consumo de ração e menos fertilizantes aplicados às culturas para produzir o alimento.

Nota-se direta relação entre os resultados do balanço e eficiência do uso de nitrogênio. Uma vez que quando há elevados índices do balanço (julho, novembro, dezembro e janeiro) há os menores valores de eficiência, como ilustrado na figura 14. Quando o balanço é maior, tem-se uma maior entrada de nitrogênio no sistema e pouca saída do mesmo, ocasionando uma menor eficiência de seu uso. O contrário acontece similarmente nos meses em que o balanço apresenta valores menores, como em junho e outubro.

Figura 16. Gráfico do balanço e eficiência do uso de nitrogênio no sistema durante o experimento.

Fonte: SANTOS, K.E.L (2016).

Ao longo de todo experimento passaram pelo sistema tanto vacas secas quanto em lactação, havendo apenas monitoramento da produção destas ultimas. Essa interferência pode diferir nas entradas e saídas causando um desvio para cima e/ou para baixo no balanço final.

Conforme Palhares (2013) comparações entre pesquisas que avaliam a eficiência de uso dos elementos devem ser feitas com cautela, pois as entradas e saídas consideradas no cálculo do

balanço podem variar dependendo do foco do estudo; as condições ambientais e produtivas podem ser divergentes e ocasionando uma grande variabilidade entre sistemas de produção.

Portanto, é por meio do manejo da propriedade que será possível diminuir as perdas de nutrientes tanto advindos da produção animal quanto dos fertilizantes e corretivos aplicados, melhorando a eficiência do uso de destes nutrientes no solo e consequentemente nos animais.

O passivo ambiental deixado pela atividade leiteira, principalmente pelos resíduos gerados, pode ser reduzido por meio da diminuição da excreção de nitrogênio pelos animais. O estrume gerado pode ser incorporado no solo juntamente com os fertilizantes minerais, aumentando a captação de nutrientes pela cultura, e assim diminuindo a quantidade necessária para os próximos ciclos.

Após a análise do balanço e do índice de eficiência do uso de nutrientes, é possível identificar grandes quantidades de nitrogênio presentes no sistema estudado. Neste sentido, estratégias que minimizem as perdas deste nutriente, como manejo nutricional e das excretas dos animais devem ser levadas em consideração. Isto porque o nitrogênio excretado pode rapidamente se transformar em amônia, volatilizando e se movendo para a atmosfera, caso não haja a incorporação adequada deste no solo e pela cultura. Além dos processos como a lixiviação e degradação do solo que podem ser evitados com o aumento da eficiência do uso de nitrogênio.

Contudo, contempla-se a importância da visão sistêmica dos meios de produção e da ação de práticas sustentáveis. As potenciais vantagens para os produtores que implantam tais ideias são o aumento da competitividade, o oferecimento de produtos diferenciados e a maior garantia de permanência dos mercados. Para os consumidores, a principal vantagem é a garantia de alimentos seguros e de alta qualidade.

Apêndice 1. Semivariogramas

Apêndice 2. Gráficos de Correlação de Pearson (r)

Validação Cruzada Magnésio

Validação Cruzada Matéria Orgânica

Validação Cruzada Fósforo

Validação Cruzada pH

Validação Cruzada V%

Validação Cruzada Calagem

Validação Cruzada KCl

Validação Cruzada SS