



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Botucatu



CARLOS HENRIQUE AUGUSTO

**ZONAS HOMOGÊNEAS DE MANEJO POR MEIO DE VARIÁVEIS
EDAFOCLIMÁTICAS E DE PRODUTIVIDADE**

Botucatu

2017

CARLOS HENRIQUE AUGUSTO

**ZONAS HOMOGÊNEAS DE MANEJO POR MEIO DE VARIÁVEIS
EDAFOCLIMÁTICAS E DE PRODUTIVIDADE**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em agronomia energia na agricultura.

Orientadora: PROFA. DRA. CÉLIA
REGINA LOPES ZIMBACK

Botucatu

2017

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

A923z Augusto, Carlos Henrique, 1982-
Zonas homogêneas de manejo por meio de variáveis edafoclimáticas e de produtividade / Carlos Henrique Augusto. - Botucatu: [s.n.], 2017
76 p.: fots. color., ils. color., tabs.

Dissertação (Mestrado)- Universidade Estadual Paulista Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2017
Orientador: Célia Regina Lopes Zimback
Inclui bibliografia

1. Soja - Produtividade. 2. Precipitação - Meteorologia. 3. Solos - Umidade. 4. Química do solo. 5. Física do solo. I. Zimback, Célia Regina Lopes. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônomicas. III. Título.

Elaborada por Ana Lucia G. Kempinas - CRB-8:7310

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte"

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**TÍTULO: “ZONAS HOMOGÊNEAS DE MANEJO POR MEIO DE VARIÁVEIS
EDAFOCLIMÁTICAS E DE PRODUTIVIDADE”**

AUTOR: CARLOS HENRIQUE AUGUSTO

ORIENTADORA: CÉLIA REGINA LOPES ZIMBACK

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA
(ENERGIA NA AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:



Profa. Dra. CÉLIA REGINA LOPES ZIMBACK

Depto de Solos e Recursos Ambientais / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu - UNESP



Prof. Dr. ANDERSON ANTONIO DA CONCEIÇÃO SARTORI
USC / Bauru (SP)



Prof. Dr. DIEGO AUGUSTO DE CAMPOS MORAES

Depto de Análise e Desenvolvimento de Sistemas / Faculdade Eduvale de Avaré

Botucatu, 01 de fevereiro de 2018.

AGRADECIMENTOS

À minha esposa pelo apoio e incentivo durante os momentos difíceis;

Aos meus filhos pela paciência e compreensão durante a ausência do pai para a elaboração deste projeto;

Aos meus queridos pais pelo trabalho duro para me dar uma formação moral, espiritual e intelectual para realizar todos os meus sonhos;

À Família Nishimura e o Grupo Jacto pela experiência que me proporcionaram e por todo o conhecimento e sabedoria compartilhada baseadas em valores sólidos;

Ao Dr. Celso Kossatz, Eng. Agr. Cássio Kossatz e todos os profissionais da Fazenda K2 Agro por compartilhar suas experiências e dados para tornar este trabalho possível;

Ao corpo docente da Fatec Shunji Nishimura em Pompéia pelo apoio moral e suporte acadêmico;

À Prof. Dra. Célia Regina Lopes Zimback pela dedicação e paciência nas sábias orientações e ensinamentos que tanto contribuiu para a minha formação acadêmica.

RESUMO

O aumento da população mundial e a limitada área disponível para a produção de alimentos, exige que busquemos cada vez mais técnicas e tecnologias que aumentem a produtividade das áreas agrícolas. A produtividade de uma determinada cultura depende de diversos fatores, e conhecer os fatores que mais influenciam a determinação do seu potencial produtivo pode contribuir para a tomada de decisão em relação à utilização e gestão de recursos. Utilizando dados de monitores de colheita da cultura da soja nas safras de 08/09, 10/11, 11/12, 12/13, 14/15 e 15/16, dados de precipitação destes anos, mapa de Condutividade Elétrica (CE) e das características químicas do solo para as safras de 09/10, 13/14, 14/15 e 15/16, este trabalho teve o objetivo de identificar os fatores mais relevantes para a determinação da produtividade da soja para auxiliar na determinação de Zonas Homogêneas de Manejo (ZHM) baseadas nestas características críticas. Comprovou-se que a disponibilidade de água é a principal determinante da produtividade da soja nas condições estudadas, sendo que a precipitação no mês de setembro, mês de implantação da cultura, apresentou-se como o fator mais crítico. Utilizando o mapa de produtividade média da cultura durante os anos estudados e o mapa de CE, foi possível identificar as áreas de potencial produtivo, mas a definição de ZHM mostrou-se desafiadora pois as características químicas do solo apresentaram alta variabilidade temporal, dificultando a determinação do manejo que poderia melhor explorar as áreas de maior ou menor potencial produtivo.

Palavras-chave: Variabilidade espacial do solo. Condições meteorológicas. Atributos químicos do solo. Atributos físicos do solo.

ABSTRACT

The growing world population and the limited area available for food production requires us to progressively seek techniques and technologies that increase the yield of agricultural crops. The yield of a crop depends on several factors and knowing the factors that most influences its yield potential can contribute to the decision making process regarding the use and management of resources. Using data from soybean yield monitors of 08/09, 10/11, 11/12, 12/13, 14/15 and 15/16 season, precipitation data from these years, Electric Conductivity (EC) map and the chemical characteristics of the soil for the 9/10, 13/14, 14/15 and 15/16 crops, this work had the objective of identifying the most relevant factors that determine soybean yield to assist in the determination of Homogeneous Management Zones (HMZ) based on these critical characteristics. The availability of water was the main factor of soybean yield under the conditions the study was carried out, and the precipitation in September was the most critical factor, being the month in which the crop was seeded. Using the average productivity map and the EC map, it was possible to identify areas of yield potential, but the definition of HMZ was challenging because the chemical characteristics of the soil had high temporal variability, making it difficult to determine the best management to explore the areas of greater or lesser yield potential.

Keywords: Soil spacial variability. Meteorological conditions. Soil chemical attributes. Soil physical attributes.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	16
2.1	A cultura da soja.....	16
2.2	Agricultura de precisão.....	19
2.2.1	Utilização da agricultura de precisão na cultura da soja.....	23
2.3	Variabilidade Espacial.....	25
2.4	Zonas Homogêneas de Manejo	29
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	32
3.1	Descrição do local do experimento	32
3.1.1	Localização.....	32
3.1.2	Clima	33
3.1.3	Solo	35
3.1.4	Histórico da área.....	35
3.2	Material	36
3.2.1	Dados de produtividade.....	36
3.2.2	Dados dos atributos do solo	37
3.3	Metodologia.....	40
3.3.1	Análise estatística descritiva dos dados	40
3.3.2	Geoestatística e interpolação dos dados.....	40
3.3.3	Álgebra de Mapas.....	41
3.3.4	Correlações	42
3.3.5	Determinação das Zonas Homogêneas de Manejo.....	43
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
4.1	Análise estatística descritiva e tratamento dos dados	44
4.2	Análise espacial.....	49
4.3	Coeficiente de Correlação	66

4.4	Determinação de ZHM.....	67
5	CONCLUSÃO	70
<u> </u>	REFERÊNCIAS	71

1 INTRODUÇÃO

Com a tendência mundial de aumento da população humana e a limitada área disponível para a produção de alimentos, faz-se necessário o uso de tecnologias e técnicas que possibilitem o aumento da produtividade das áreas agrícolas e agricultáveis para que seja possível produzir alimento para um número cada vez maior de pessoas. O aumento da produtividade deve ser acompanhado por técnicas que não agridam o ambiente e o ecossistema em que a propriedade rural esteja inserida, além de levar em consideração os aspectos econômicos e sociais para que seja realizado de forma sustentável.

A produtividade de uma cultura em uma determinada área é o resultado da interação de um grande número de variáveis como clima, atributos do solo, disponibilidade de nutrientes, genética da planta, qualidade das operações agrícolas, entre outras. Grande parte destas variáveis é conhecida, sendo que algumas podem ser alteradas com a intervenção humana. Para o processo de tomada de decisão estuda-se o ambiente agrícola para se determinar as consequências de cada intervenção para determinar se ela será viável e se irão proporcionar os resultados desejados para o produtor.

Com o desenvolvimento do conhecimento do ambiente agrícola e das ciências agrárias, o processo produtivo das grandes culturas foi conduzido a um modelo caracterizado pelo uso intenso de insumos como sementes híbridas, fertilizantes, corretivos e outros agroquímicos em grandes áreas. Também houve uma tendência de aplicação destes insumos de forma uniforme para explorar a eficiência das máquinas e equipamentos visando diminuir os custos das operações.

A aplicação uniforme de insumos, quando estudada de forma mais detalhada, evidencia que não é ideal para se explorar todo o potencial do ambiente produtivo que, de modo geral, é heterogêneo e apresenta variabilidade espacial e temporal dos fatores que afetam a produtividade.

As tecnologias de informação e automação, disponíveis hoje para aplicação no ambiente de produção agrícola, permitem a aquisição de uma grande quantidade de informações referentes às diversas variáveis de produção. Estas informações podem ser levantadas e analisadas em pequenas porções dos talhões e levar o agricultor a tomar decisão mais conscientes e em escalas menores, possibilitando a gestão localizada do ambiente produtivo utilizando os recursos de forma mais eficiente,

aumentando assim a sua competitividade e lucratividade. O termo Agricultura de Precisão (AP) foi utilizado para caracterizar esta forma de manejo da lavoura que considera a heterogeneidade e a variabilidade espacial e temporal dos atributos do ambiente para a condução da lavoura.

Diversos processos e técnicas podem ser utilizados para adquirir informações sobre o ambiente produtivo de forma localizada. Em geral, os métodos que proporcionam informações de forma mais detalhada, também apresentam um custo maior de aquisição, encarecendo o processo e, em alguns casos, tornando a prática economicamente inviável. Isso levou muitos produtores a procurarem metodologias de menor custo. Ao procurar alternativas mais baratas, muitas propriedades acabam empregando técnicas sem base científica e cujas informações não são capazes de representar fielmente a realidade da lavoura. Daí surge a necessidade do desenvolvimento de metodologias que diminuem o custo do processo de aquisição de informação, mas que, ao mesmo tempo, represente de forma fiel as condições heterogêneas do ambiente produtivo.

Uma forma eficiente de se estudar a área produtiva e utilizar o manejo localizado da lavoura na aplicação do conceito de AP é a divisão dos talhões em Zonas Homogêneas de Manejo (ZHM). ZHM são áreas identificadas dentro de um determinado talhão que apresentam características relativamente homogêneas onde as operações, a aplicação de insumos e, em alguns casos, o processo de aquisição de dados, são personalizados para atender as necessidades intrínsecas de cada subárea. A divisão do talhão em ZHM proporciona o benefício da otimização da utilização de insumos na lavoura diminuindo os custos relacionados com a aquisição de informação.

Comumente as ZHM são utilizadas para o manejo localizado da fertilidade do solo focando a aplicação em taxa variável de fertilizantes e corretivos. A determinação da quantidade de insumo a ser aplicado em cada subárea dentro de uma ZHM é realizada utilizando técnicas de análise da variabilidade espacial do ambiente produtivo como por exemplo a análise da fertilidade do solo utilizando grades amostrais, mapas da Condutividade Elétrica (CE) ou a Resistividade Elétrica (RE).

Mapas de produtividade também são utilizados para determinação de ZHM. Esta informação é julgada por alguns autores como a informação que mais reflete a variabilidade espacial da lavoura, já que é a consequência da interação de todos os outros fatores de produção e não apenas dos atributos do solo. Outros métodos como

a retenção de água no solo, incidência de pragas e doenças, entre outras, também podem determinar ZHM, mas são menos utilizadas.

Entendendo-se a importância do custo para a aquisição das informações sobre as variáveis que influenciam a produtividade, o estudo de quais variáveis apresentam uma maior influência passa a ser relevante para que a análise das condições destas variáveis seja priorizada para a determinação de ZHM focando a locação de recursos em atividades que vão proporcionar maior impacto no resultado final.

Reconhecendo a importância da soja para o agronegócio brasileiro e a importância da região dos Campos Gerais no Estado do Paraná na produção desta cultura, objetiva-se com este trabalho discriminar as ZHM por meio do estudo da influência dos atributos físicos e químicos do solo, do clima e da produtividade, utilizando ferramentas de AP.

Os objetivos específicos para a cultura de soja foram:

- a) identificar ZHM a partir da produtividade média das safras anteriores;
- b) identificar fatores que influenciam a produtividade da cultura;
- c) verificar a variabilidade espacial dos atributos do solo e das zonas de produtividade no período estudado;
- d) correlacionar os atributos do solo, de temperatura do ar e precipitação com a produtividade de soja;
- e) determinar as Zonas Homogêneas de Manejo para a cultura da soja nas condições do estudo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A cultura da soja

A área plantada de soja no Brasil aumentou 3,6% da safra de 2014/2015 para a safra de 2015/2016 atingindo um total de 33,23 milhões de hectares com uma produção de 100,93 milhões de toneladas que representa um aumento de 4,9% em relação à safra anterior (ACOMPANHAMENTO DA SAFRA BRASILEIRA GRÃOS, 2016). Os Estados Unidos, maior produtor deste ano, relataram uma produção de 106,86 milhões de toneladas na safra colhida em setembro de 2015 (USDA, 2016; USDA, 2017).

Na safra de 2016/2017, a soja tem sido a principal cultura cultivada no Brasil e apresentou um aumento na área plantada para cerca de 33,86 milhões de hectares, crescimento de 1,8% em relação ao ano anterior. Por sua rentabilidade, tem ocupado áreas que eram plantadas com outras culturas, avançando em áreas de produção de algodão, milho, feijão, e arroz de sequeiro. Mesmo tomando áreas que eram utilizadas por outras culturas, o principal avanço da cultura da soja tem sido em áreas de pastagens.

Cerca de 35% da área plantada com a cultura da soja é ocupada com milho segunda safra. As culturas de algodão segunda safra e feijão segunda safra também ocupam as áreas de plantio de soja como primeira safra.

A cultura da soja recebe um alto investimento por parte do produtor, tanto em equipamentos, quanto em tecnologia de sementes, adubação e defensivos. Devido ao alto grau de investimento e tecnologia já utilizado pela cultura, observa-se um crescimento anual menos acentuado na produtividade em relação a outras culturas. Em 2017, a produtividade brasileira foi de 3.338 kg/ha, 16,3% maior que o ano anterior e para este ano estima-se que a produção Brasileira chegue a 113 milhões de toneladas de soja. No estado do Paraná, a área plantada com a cultura da soja chegou a 5,3 milhões de hectares, com produtividade de 3.713 kg/ha. A produtividade recorde, com 15,9% acima da safra passada, deve-se principalmente pelo clima favorável apresentado neste ano (ACOMPANHAMENTO DA SAFRA BRASILEIRA GRÃOS, 2017).

O processo de modernização da agricultura brasileira está intrinsecamente relacionado com a cultura da soja e sua expansão. A soja foi a grande impulsora no

processo de mecanização e técnicas modernizadas nos processos de plantio, colheita e processamento de grão. Foi também a responsável pela conquista do Oeste brasileiro. Pode-se afirmar que a soja trouxe a necessidade de uma visão empresarial de administração da atividade por parte dos produtores, fornecedores de insumos, processadores de matéria prima e negociantes podendo assim ser considerada a principal responsável pela introdução do conceito de agronegócio no país (PAULA; FAVARET, 1998).

A cultura da soja também contribui para a adoção de tecnologias na lavoura sendo, junto com a cultura do milho, a cultura que mais utiliza as tecnologias de agricultura de precisão no Brasil (BERNARDI; INAMASU, 2014). O emprego de ferramentas de agricultura de precisão e de técnicas de preparo conservacionistas tem se destacado como alternativa para a melhoria do manejo dos solos brasileiros, aumentando a produtividade das culturas com redução do custo de produção. Os produtores brasileiros de grão que adotam o sistema de plantio direto, normalmente interessam-se pela adoção de técnicas de agricultura de precisão (MACHADO; BERNARDI; SILVA, 2004).

Os fatores climáticos são os principais limitadores ao desenvolvimento da produção agrícola, assim grande parte das tecnologias empregadas na cultura da soja visam mitigar as perdas de produtividade decorrentes destes fatores. No caso desta cultura, a precipitação se mostra como o principal componente climático na determinação da produtividade. A temperatura passa a ser um fator secundário já que sua influência só acentua as perdas devido às condições de baixa precipitação (VALE, 2017).

Dos componentes dos atributos químicos e físicos do solo, o desequilíbrio de bases Ca:K e Mg:K e a limitação à infiltração de água no solo são as que mais frequentemente limitam a produtividade deste grão, sendo que os componentes relacionados com os atributos físicos apresentam maior influência (SANTI et al., 2012). Granemann et al. (2015), ao estudarem as relações dos atributos químicos do solo com a produtividade da soja, não encontraram correlação espacial da produtividade e outros atributos químicos do solo com exceção do Ca.

Em um estudo sobre a variabilidade espacial da produtividade da cultura da soja, DALCHIAVON et al. (2011) constataram que a produtividade desta cultura apresenta alta correlação com a resistência à penetração do solo. A produtividade de grãos de soja também pode ser estimada por meio da umidade volumétrica do solo que, por

sua vez, também é influenciada pela textura e outros atributos físicos do solo (ROSA FILHO et al., 2009).

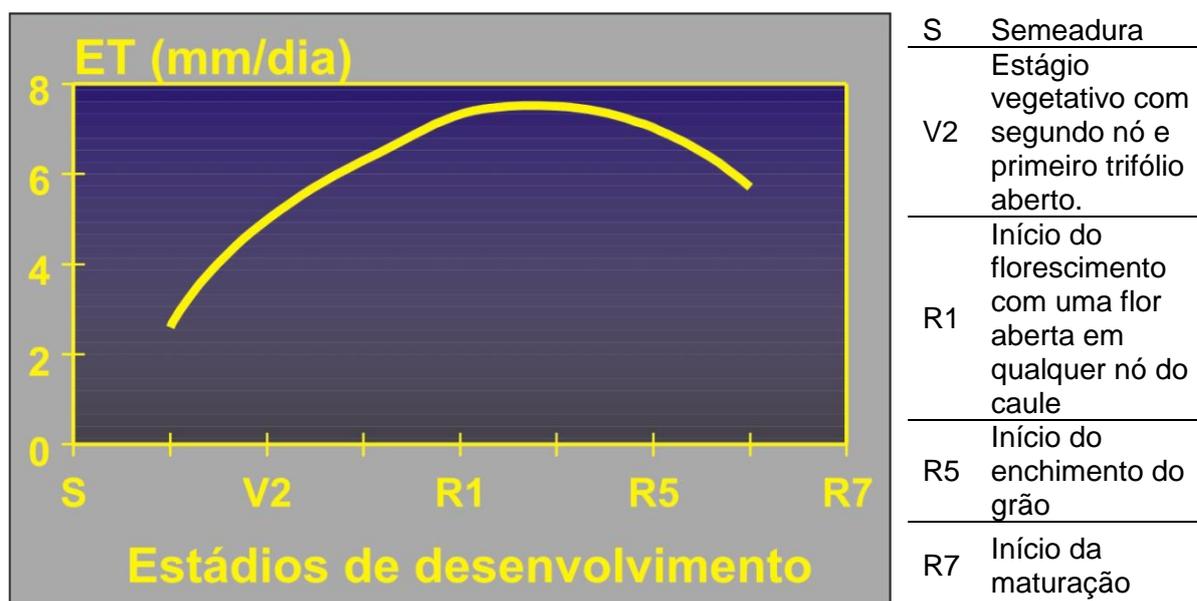
Fancelli (2017), em trabalho realizado pelo Comitê Estratégico Soja Brasil (CESB), relata que o campeão de produtividade da soja na região sul no Desafio Nacional de Máxima Produtividade 2016/2017, que atingiu produtividade de 4.511 kg/ha de grãos de soja em uma área de 1.100 ha, focou sua estratégia de manejo na construção do perfil do solo trabalhando a fertilidade do solo em níveis mais profundos com o intuito de aumentar a sua capacidade de infiltração e armazenamento de água.

A relação da produtividade da soja com os atributos físicos do solo e a umidade indiretamente reflete a sensibilidade desta cultura à disponibilidade de água já que o peso total da planta da soja é constituído de aproximadamente 90% de água. A água atua em praticamente todos os processos fisiológicos e bioquímicos da planta da soja e desempenha função de solvente transportando gases, minerais e outros solutos na planta. A água também atua como regulador térmico (FARIAS et al., 2009; EMBRAPA, 2013).

Durante o ciclo da cultura da soja, a disponibilidade de água é mais crítica durante dois períodos de desenvolvimento: germinação-emergência e floração-enchimento de grãos. A semente de soja necessita absorver pelo menos 50% do seu peso de água para uma boa germinação, mas no período de germinação-emergência, o excesso hídrico se mostra mais limitante do que o déficit. Para que não haja prejuízo à planta durante esta fase, a umidade do solo não deve exceder a 85% e nem deve ficar a baixo de 50%. A partir desta fase a necessidade de disponibilidade de água pela planta aumenta gradativamente até o pico de 7 a 8 mm por dia na fase de floração-enchimento de grãos. A necessidade total de água durante todo o ciclo da cultura varia entre 450 a 800 mm, dependendo do manejo e do ciclo da cultura (EMBRAPA, 2008).

Na Figura 1 está ilustrada a evapotranspiração (ET) diária da cultura da soja, nos diferentes estádios de desenvolvimento.

Figura 1 - Evapotranspiração (ET) diária da cultura da soja, nos diferentes estádios de desenvolvimento.



Fonte: Adaptado de Berlato et al. (1986).

Morando et al. (2014) citaram o registro da CONAB em 2012, relatando que o longo período de estiagem causou perda de 43,8% (5,09 milhões de toneladas) na produção do Estado do Rio Grande do Sul e de 30% (4,63 milhões de toneladas) no Estado do Paraná, evidenciando a importância econômica da disponibilidade hídrica para esta cultura.

2.2 Agricultura de precisão

A agricultura moderna e a evolução das máquinas e equipamentos agrícola favoreceram o cultivo de grandes áreas, aumentando assim o tamanho médio das fazendas e talhões. O aumento da área veio com o sacrifício do manejo mais localizado já praticado pelo homem do campo quando a média das áreas total das propriedades ainda era relativamente pequena e as operações eram realizadas de forma manual ou com máquinas de pequeno porte. Nos anos 80 com os primeiros monitores de colheita desenvolvidos na Europa e posteriormente com as primeiras máquinas capazes de aplicar fertilizantes e corretivos em taxa variável nos Estados Unidos, surgem as primeiras tecnologias que permitiam a coleta de dados localizados e, impulsionado pela pesquisa que evidenciava a heterogeneidade do ambiente agrícola, iniciaram as primeiras atividades de manejo visando a aplicação de insumos

de forma localizada buscando-se explorar o potencial produtivo de cada área do talhão minimizando o desperdício. Este conceito de manejo localizado mais preciso, passou a ser referido como agricultura de precisão (MOLIN; AMARAL; COLAÇO, 2015).

Com a evolução dos estudos sobre a variabilidade espacial e temporal das condições da lavoura, e o entendimento da necessidade de ferramentas para um gerenciamento que leva em consideração esta desuniformidade para aumentar a eficiência da atividade agrícola, o conceito de agricultura de precisão passa a ter um sentido mais abrangente, estabelecendo-se como: um conjunto de ferramentas e tecnologias aplicadas para permitir um sistema de gerenciamento agrícola baseado na variabilidade espacial e temporal da unidade produtiva, visando o aumento do retorno econômico e à redução do impacto ao meio ambiente (BRASIL, 2004).

Inamasu e Bernardi (2014) citaram Stafford em 2000, ao relatarem o primeiro registro de recomendação de investigação da variabilidade da acidez do solo em um boletim do campo experimental em Illinois, Estados Unidos, visando a aplicação de calcário à taxa variável.

Bramley (2009) incluiu, no conceito de agricultura de precisão, a ideia de que a melhoria na gestão agrícola se dá através do reconhecimento da variabilidade do potencial produtivo ou potencial de resposta da lavoura. Este conceito trouxe uma nova visão para as estratégias de gestão agrícola onde as ferramentas e as informações obtidas utilizando as ferramentas de AP, buscam atingir o equilíbrio entre o aumento de produtividade e os custos envolvidos na produção.

A visão da necessidade do estudo do potencial produtivo alerta para a importância de se buscar as causas da variação da produtividade e rentabilidade em uma lavoura, não apenas analisando um aspecto, como fertilidade do solo, isoladamente, mas sim diversos aspectos e suas interações.

Entre os fatores mais importantes que explicam as causas de variação da produtividade de uma determinada cultura na lavoura está a pedologia. Além da rocha matriz que define os minerais presentes em cada região da lavoura, o relevo influencia a variabilidade na textura do solo e o tempo de exposição de cada área aos efeitos do intemperismo. O relevo também influencia a retenção e movimentação da água variando a intensidade de lixiviação e deposição de minerais e nutrientes em diferentes áreas dentro de um mesmo talhão (FLORES; ALBA, 2014).

Outros fatores como distribuição de incidência e período de competição de plantas invasoras, doenças e pragas também são responsáveis pela variabilidade da

produtividade em uma determinada lavoura (CRUVINEL, KARAM; BERALDO, 2014; JORGE; INAMASU, 2014).

Adaptações de tecnologias de automação, já utilizadas no setor industrial, para o setor agrícola deram base para a utilização de máquinas e equipamentos capazes de atuar em ambientes agrícolas heterogêneos. Para esse fim a utilização de Sistemas Globais de Navegação por Satélite (Global Navigation Satellite Systems – GNSS), como o sistema americano GPS (Global Positioning System), o sistema russo GLONASS e o europeu GALILIEO, ainda em desenvolvimento, tiveram importância vital, já que possibilitaram que as máquinas e implementos pudessem responder ou atuar de acordo com o local onde se encontram na lavoura de forma rápida e relativamente precisa.

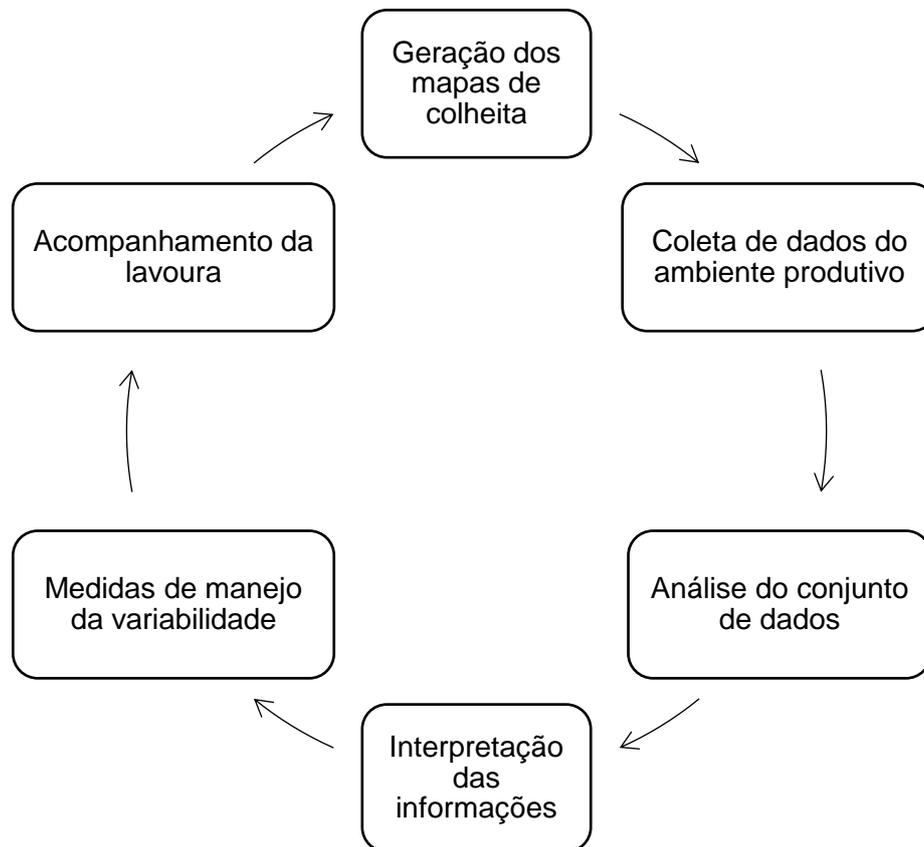
Para a cultura de grão, os dispositivos de georreferenciamento foram integrados com sensores de fluxo de grão, já utilizados em processos industriais, e deram origem aos monitores de produtividade permitindo o mapeamento da produtividade da lavoura. A integração de dispositivos GNSS com válvulas em um sistema de pulverização deu origem às ferramentas de aplicação localizada e ao sistema de corte de sessão em pulverizadores. E a integração com dispositivos eletrônicos deram origem aos sistemas de direcionamento. Inicialmente com o equipamento de barras de luzes e posteriormente, integrada com atuadores hidráulicos das máquinas ou motores elétricos acoplados ao sistema, deram origem aos sistemas de direcionamento automático (MOLIN; AMARAL; COLAÇO, 2015; INAMASU; BERNARDI, 2014).

Devido ao desenvolvimento e a utilização de diversas ferramentas avançadas para a atuação de máquinas e implementos agrícolas e os avanços dos sensores, softwares e outras técnicas de análise das condições da lavoura, na aplicação do conceito de AP, a sua adoção depende apenas da constatação de que o ambiente produtivo agrícola é heterogêneo e a intensidade da variabilidade espacial da lavoura é muito elevada para ser ignorada. Desta forma as diversas ferramentas vêm apenas possibilitar um manejo que observa estas condições de forma mais detalhada (BERNARDI et al., 2014).

A utilização das diferentes ferramentas para a análise da variabilidade do ambiente de produção agrícola, respeitando o ciclo das diferentes culturas e a intervenção no processo de produção de forma localizada em diferentes etapas aliada

a utilização das informações e experiências de um ano para o outro define o ciclo da AP como ilustrado na Figura 2.

Figura 2 – Ciclo da agricultura de precisão



Fonte: Adaptado de Molin (2003).

O ciclo de coleta de informação, análise e intervenção se repete safra a safra e as experiências adquiridas a cada ano são registradas e utilizadas para o processo de tomada de decisão nos anos posteriores.

Ainda não há um consenso de onde o ciclo deve iniciar. Mesmo que o manejo utilizando o conceito de AP pode se iniciar em qualquer fase do ciclo, diversos autores defendem a ideia de que o início do processo dever ser a coleta de informações, sendo que para alguns, estas informações devem ser referentes aos atributos do solo enquanto outros defendem que devem ser da produtividade. Mas de qualquer forma, no decorrer do ciclo, todas as informações que permitam um manejo mais adequado para cada área da lavoura devem ser levantadas quando for viável (INAMASU; BERNARDI 2014).

Tey e Brindal (2012), em um trabalho realizado nos Estados Unidos e Austrália, identificaram 34 fatores que influenciam significativamente na decisão em adotar a agricultura de precisão por parte dos produtores. Os autores agruparam estes fatores em 7 grupos: fatores sócio econômicos, fatores agroecológicos, fatores institucionais, fatores de informação, percepção dos produtores em relação aos benefícios potenciais das tecnologias, fatores comportamentais e fatores tecnológicos. No Brasil, Bernardi e Inamasu (2014) identificaram fatores bastante semelhantes aos de Tey e Brindal (2012), em estudos com agricultores brasileiros.

2.2.1 Utilização da agricultura de precisão na cultura da soja

As primeiras tecnologias utilizadas na agricultura de precisão para automação do processo operacional e principalmente de coleta de dados da planta e da produtividade na lavoura foram desenvolvidas para culturas de grão. Isso se deu por sua importância econômica e pela facilidade de adaptação de sensores, processos e tecnologias já utilizadas no ambiente de produção industrial (MOLIN, 2000).

Um estudo da EMBRAPA realizado com produtores rurais de diversos Estados do país mostrou que 81,9 % dos entrevistados que cultivam soja e milho no Brasil utilizam tecnologias de agricultura de precisão. No Estado do Mato Grosso a pesquisa registrou que 100% dos entrevistados utilizavam estas tecnologias nestas culturas. Em outros Estados, a pesquisa aponta que os produtores que produzem soja e milho também utilizam AP com maior frequência em relação a outras culturas, como mostra a Tabela 1.

As tecnologias de agricultura de precisão também são utilizadas em outras culturas e mesmo que a média de utilização pelos produtores se apresente baixa, existe destaques em regiões produtoras onde determinada cultura apresenta maior aptidão como por exemplo a cultura do algodão com média de 4,4% mas no Estado da Bahia apresenta 50% dos produtores utilizando agricultura de precisão e a cultura do café com média de 1,9% com destaque para Minas Gerais utilizando em 20% das propriedades (BERNARDI; INAMASU, 2014).

Tabela 1 – Porcentagem de produtores que utilizam ferramentas e técnicas de AP para o cultivo de grãos em diferentes estados brasileiros

Estado	Soja	Milho	Trigo	Aveia, cevada e girassol
BA	83,3	100,0	-	-
PI	50,0	41,7	-	-
MA	92,3	92,3	-	-
GO	71,4	64,3	-	7,1
MS	91,4	91,4	5,7	5,8
MT	100,0	100,0	-	-
MG	20,0	33,3	-	-
PR	96,8	93,5	51,6	29,0
RS	95,5	95,5	77,3	90,9
TOTAL	81,9	81,9	21,9	20,0

Fonte: Adaptado de BERNARDI e INAMSU (2014).

As técnicas de agricultura de precisão juntamente com a adoção de sistemas conservacionistas de uso do solo, como o plantio direto, podem alterar significativamente a utilização de fertilizantes no processo de produção agrícola assim como a dinâmica de utilização de máquinas e equipamentos envolvidos neste processo. A maioria dos produtores de grão que adotam o sistema de plantio direto, também utilizam rotação de culturas, manejo integrado de pragas e doenças e sistemas de utilização de solos conservacionistas. Produtores que utilizam estas técnicas conservacionistas apresentam maior tendência de investir em máquinas e outras tecnologias para melhorar a produtividade da lavoura e assim são mais propícios à adoção de técnicas e tecnologias de agricultura de precisão (MACHADO et al., 2004).

Machado et al. (2004) relataram que, em relação à soja, a utilização de agricultura de precisão para a aplicação de fertilizantes e corretivos é de grande importância já que é uma cultura que exporta uma quantidade muito grande de nutrientes devido à sua produtividade e apontam que a aplicação de fertilizantes e corretivos em taxa variável podem reduzir o custo com estes insumos, que chegam a representar de 25 a 35% do custo total de produção da soja.

Para a aplicação correta de fertilizantes e corretivos em taxa variável é necessário o estudo da variabilidade espacial dos principais atributos químicos do solo. Para se otimizar a estimativa espacial dos atributos do solo utiliza-se amostragens baseadas na geoestatística. Por meio do alcance do variograma pode se estabelecer a dependência espacial dos diversos atributos do solo determinando assim a malha de amostragem (MACHADO et al., 2004).

Dalchiavon (2016) verificou que os alcances geoestatísticos para os principais atributos do solo em sistema de plantio direto com cultura da soja foi em torno de 44 metros e ressaltou a importância do uso de ferramentas geoestatísticas na determinação da distribuição espacial destes atributos e para o adequado manejo da fertilidade do solo.

Mesmo que o estudo da variabilidade espacial dos atributos do solo seja relevante para a determinação da variabilidade na produtividade da cultura da soja, o estudo da produtividade da cultura é muito importante na investigação do potencial da área produtiva. Esta informação é fundamental para se determinar se o fator que limita a produtividade em determinada área da lavoura é proveniente de atributos químicos ou físicos do solo, ou então de outros fatores (LOVERA et al., 2015).

2.3 Variabilidade Espacial

O termo AP é definido como uma filosofia de gestão do processo de produção agrícola que leva em consideração a variabilidade espacial e temporal do ambiente produtivo. Sendo assim é fundamental o estudo, a avaliação e a quantificação da variabilidade das características e atributos do ambiente para a aplicação deste conceito. Existe o consenso de que a atividade de AP deve iniciar-se com a identificação da variabilidade espacial da lavoura (MOLIN; AMARAL; COLAÇO, 2015).

Para a investigação da variabilidade espacial utiliza-se ferramentas matemáticas conhecidas como “Estatística Espacial” (EE) ou “Geoestatística”. A principal diferença entre esta ferramenta e a “Estatística Clássica” (EC) é o fato de que a EC procura uma tendência central, ou seja, a média, dos dados analisados. A geoestatística procura mapear o comportamento dos dados no espaço geográfico, já que a EC avalia as medidas de variância, média, desvio-padrão de um conjunto de dados, mas não apresenta ferramentas para apontar onde o valor mais baixo ou o valor mais alto é provável de aparecer (ANSELIN; GETIS, 1993; BERRY, 1997).

Através de um método conhecido como interpolação, procura-se determinar valores desconhecidos, ou não amostrados, de um atributo contínuo usando valores conhecidos ou amostrados. O processo de interpolação consiste em duas partes. A primeira é a definição da relação espacial entre os pontos amostrados para determinar o relacionamento de vizinhança entre os dados amostrados. A segunda é a definição do método matemático que irá calcular ou estimar os valores desconhecidos ou não amostrados. A escolha do método matemático deve considerar se o método realmente se comporta de forma similar ao fenômeno estudado para se obter resultados ressoáveis. Os valores estimados desta maneira são chamados de valores “interpolados”, ou seja, valores entre polos (MIRANDA, 2010).

O estudo da variabilidade espacial de um determinado atributo ou fenômeno se baseia em amostragem de pontos na área estudada e então a realização da interpolação destas informações. Um procedimento comum utilizado na análise espacial é a conversão de dados observados e registrados de forma pontual em atributos de área com o intuito de se produzir um mapa matricial que pode ser analisado como uma superfície em forma de mosaico.

Entre os diversos métodos utilizados para a interpolação dos dados estão a estimativa de ponto pelo método de polígonos, triangulação ou inverso da distância. Além destes métodos, um método bastante utilizado é o Método de Krige, também conhecido como Krigagem em referência ao engenheiro de minas sul-africano Daniel G. Krige, pioneiro no uso de médias móveis para evitar a superestimação sistemática de minérios (CAMARGO, 1997).

Todos os algoritmos utilizados para interpolação estimam um valor de um determinado atributo em um local baseando-se em uma soma ponderada dos valores dos dados vizinhos ao ponto estimado. Quase todos adotam o processo de diminuição do peso do valor amostrado em relação ao aumento da distância do local estimado. No caso da Krigagem, os pesos das amostras são apontados levando em consideração uma função que se baseia na distribuição dos dados amostrados (BOHLING, 2005). O que distingue este método dos outros é que, em vez de tornar os pesos uma simples função da distância, ele utiliza a influência da dependência espacial dos dados procurando zerar o erro residual médio e almeja minimizar a variância dos erros (MIRANDA, 2010).

Para a utilização do método da Krigagem se faz necessária a definição do grau de continuidade da influência de cada amostra em relação à sua vizinhança. A ferramenta

utilizada para este fim é o variograma. O variograma é uma curva que representa o grau de continuidade da influência espacial de cada amostra. Para a definição da curva do variograma plota-se a distância entre as amostras no eixo da abcissa, e o valor médio do quadrado da diferença entre as grades de amostras colhidas a uma distância d uma da outra é utilizada no eixo da ordenada (MATHERON, 1963). Sem os parâmetros fornecidos pelo variograma, a interpolação dos dados fornecidos pelo método da Krigagem deixa de ser confiável.

A metodologia adotada para a coleta das amostras de dados é importante para que os resultados das análises sejam compatíveis com a realidade do fenômeno estudado. Se a malha amostral for densa e os dados uniformemente distribuídos, tende-se a obter boas estimativas independente do algoritmo utilizado. Mas se os dados amostrados se apresentarem de forma agrupada com grandes espaços entre estes grupos, tende-se a obter estimativas ruins, independentemente do algoritmo utilizado para interpolação. A vantagem de se utilizar a Krigagem é que ajuda a compensar o efeito de agrupamento de dados amostrados dando menor peso para pontos individuais localizados em um agrupamento de amostras próximas e expressa um erro estimado do processo de interpolação (BOHLING, 2005).

Com o desenvolvimento e a utilização de Tecnologias de Informação (TI), a análise dos dados utilizando sistemas computacionais facilitou a análise de dados, especialmente dados georreferenciados para a investigação da variabilidade espacial. A geotecnologia é o resultado da tecnologia de informação aplicada à geografia e a maneira como é implementada influencia a estrutura de governança do agronegócio e possibilita maior precisão na tomada de decisão organizacional. Antes da utilização de tecnologia da informação a documentação e o mapeamento eram realizados de forma manual em papel, mas com o advento de novas tecnologias, as ferramentas para estudo do ambiente produtivo tornam-se mais facilmente aplicáveis possibilitando a identificação e análise das características da lavoura de forma mais eficiente (VALENT et al., 2014).

As informações referentes a fenômenos cuja característica está ligada à sua localização ou posição na superfície terrestre, são denominadas informação geográfica. O termo Sistema de Informação Geográfica (SIG) é um termo mais amplo para a determinação de ferramentas desenvolvidas para coletar, processar, analisar, modelar e armazenar informações geográficas. As tecnologias utilizadas para a manipulação e análise destas informações podem ser classificadas em 4 categorias:

posicionamento, aquisição de dados, disseminação de dados e análise. Desde o surgimento destas ferramentas na década de 60, houve uma grande evolução no desenvolvimento de tecnologias e novas técnicas de processamento destas informações resultando no surgimento da Ciência de Informações Geográficas, uma área da ciência hoje amplamente reconhecida (GOODCHILD, 2009).

Os SIGs utilizam ferramentas matemáticas para possibilitar a análise espacial baseando-se em amostragens. Os métodos mais utilizados para a interpolação de dados no ambiente agrícola são os métodos de Krigagem e Inverso da Distância elevado uma determina potência, onde a Krigagem mostra-se mais acurada que o Inverso da Distância quando o número de amostras e sua dependência espacial permitem a sua utilização (COELHO et al., 2009).

Inserido no conceito de geotecnologia está o termo geoprocessamento que se refere a utilização de um conjunto de técnicas e tecnologias para o tratamento e manipulação de dados geográficos como por exemplo o sensoriamento remoto, a utilização de Sistemas de Posicionamento Global (GPS) e SIG (CARVALHO; PINA, 2000).

Além de criar bancos de dados georreferenciados e permitir análises mais complexas no processo de produção agrícola, as geotecnologias também permitem melhor eficiência no planejamento das atividades agrícolas e facilita o cumprimento da legislação. Os SIG podem ser utilizados como ferramentas para produção de mapas, como suporte para análise espacial de fenômenos e para armazenamento e recuperação de informação espacial (GIANEZINI et al., 2012)

O conjunto destas ferramentas trouxe um novo conceito para o manejo da propriedade agrícola já que sua utilização abrange não somente as operações agrícolas de manejo de solo e tratos culturais, mas influencia toda a cadeia do agronegócio desde a aprovação de financiamentos e definição de riscos para seguros até a comercialização e certificação dos produtos incluindo a análise e determinação do impacto ambiental da atividade (GOODCHILD, 2009).

2.4 Zonas Homogêneas de Manejo

As extensas ferramentas desenvolvidas para o uso da AP permitem a coleta de uma grande quantidade de dados sobre o solo, o status da cultura, a produtividade e a geolocalização destas propriedades. Esta grande quantidade de dados demanda o uso de TI e SIG para a utilização destas informações na tomada de decisão no manejo da produção baseado na variabilidade espacial apresentada pela cultura. Uma das formas comuns de manejo da variabilidade da lavoura é a utilização destas tecnologias para a determinação de Zonas Homogêneas de Manejo (ZHM). ZHM são sub-áreas dentro de um talhão que apresentam condições relativamente homogêneas. A identificação destas áreas permite que dentro de cada ZHM seja adotada uma forma de manejo adequada para suas necessidades e características respeitando o fator limitante à produtividade em cada área (PANTAZI et al., 2015; KITCHEN et al., 2005).

O manejo diferenciado em subáreas da lavoura depende de diversos fatores relacionados com as condições do solo e da planta. As informações sobre tais condições e o estudo sobre o modo como se interagem possibilitam determinar a relação causa e efeito entre fatores limitantes e a produtividade da lavoura além de permitir a divisão da área produtiva em zonas relativamente homogêneas onde se é possível realizar o manejo e a aplicação de insumos de forma homogênea (TAGARAKIS, 2012; SANTOS et al., 2003).

Um problema relacionado com a coleta de dados para a análise da variabilidade dos atributos que determinam a produtividade de uma lavoura são os custos envolvidos com a amostragem dos dados e análises. A definição de ZHM requer uma série de passos desde a coleta de dados até a avaliação dos mapas gerados que facilita a coleta de dados diminuindo a necessidade do número de amostragem, reduzindo assim o custo para a aquisição de informações necessárias para a tomada de decisão. Esta técnica permite que o produtor se beneficie das vantagens do manejo localizado da lavoura a um custo menor comparado com uma metodologia de amostragem de dado na área total do talhão, como por exemplo, em grade (RAMOS et al., 2017; SANTOS et al., 2003)

As ZHM podem ser definidas utilizando uma variedade de informações relacionados com variabilidade dos atributos físicos e químicos do solo. A condutividade elétrica assistida de mapas de elevação do terreno é uma forma

eficiente de se obter informações sobre áreas homogêneas em relação aos atributos do solo, já que ela se correlaciona com diversas outras características como salinidade, textura, umidade e matéria orgânica (MOLIN; CASTRO, 2008). Mesmo sendo uma ferramenta bastante importante no estudo da variabilidade do ambiente de produção agrícola, nem sempre a condutividade elétrica correlaciona-se com a produtividade da cultura (CORWIN; PLANT, 2005).

Milani et al. (2006) utilizaram mapas de produtividade de diversos anos da cultura da soja para a elaboração de um mapa final confeccionado a partir da média das produtividades dos anos estudados calculando também o coeficiente de variação de cada célula dos mapas. Dessa forma puderam sugerir a determinação de zonas de manejo baseadas na produtividade média de cada região e levando em consideração a o coeficiente de variação da produtividade apontando regiões de alto potencial produtivo, mas que, em algumas situações apresentava baixa produtividade.

A utilização de mapas de produtividade para determinação de ZHM tem se mostrado um importante parâmetro já que se trata da representação gráfica da resposta da cultura em relação à todas as variáveis, mensuráveis ou não, que definem a produtividade, podendo ser utilizado também como ponto de partida para a implementação de um sistema de manejo utilizando o conceito de AP. Além disso o processo de coleta de dados de produtividade possibilita a coleta de uma grande quantidade de amostras em uma malha amostral densa apresentando com bastante detalhe a variabilidade da lavoura. Mesmo sendo um parâmetro importante, os mapas de produtividade não proporcionam todas as respostas para explicar as causas de variação da produtividade na lavoura, sendo assim é necessário correlacioná-los com outros atributos (SANTI et al., 2013).

Para trazer vantagens ao produtor, os critérios para a determinação das zonas de manejo devem ser muito bem determinados já que uma má determinação destas zonas poderá causar ao produtor a obtenção de dados que não são fiéis à realidade da lavoura levando-o a não se beneficiar integralmente da utilização do manejo localizado (PING et al., 2005). Erros no processo de amostragem podem levar a erros na análise e na interpretação das informações. No processo de análise utilizando geoestatística, um número mínimo de amostras deve ser coletado para que seja possível utilizar as ferramentas matemáticas para se estimar as condições dos locais não amostrados. Muitas vezes o número mínimo de amostras é considerado por

alguns produtores, economicamente inviável refletindo na coleta ineficaz dos dados e comprometendo a veracidade dos mapas gerados (RAMOS et al., 2017).

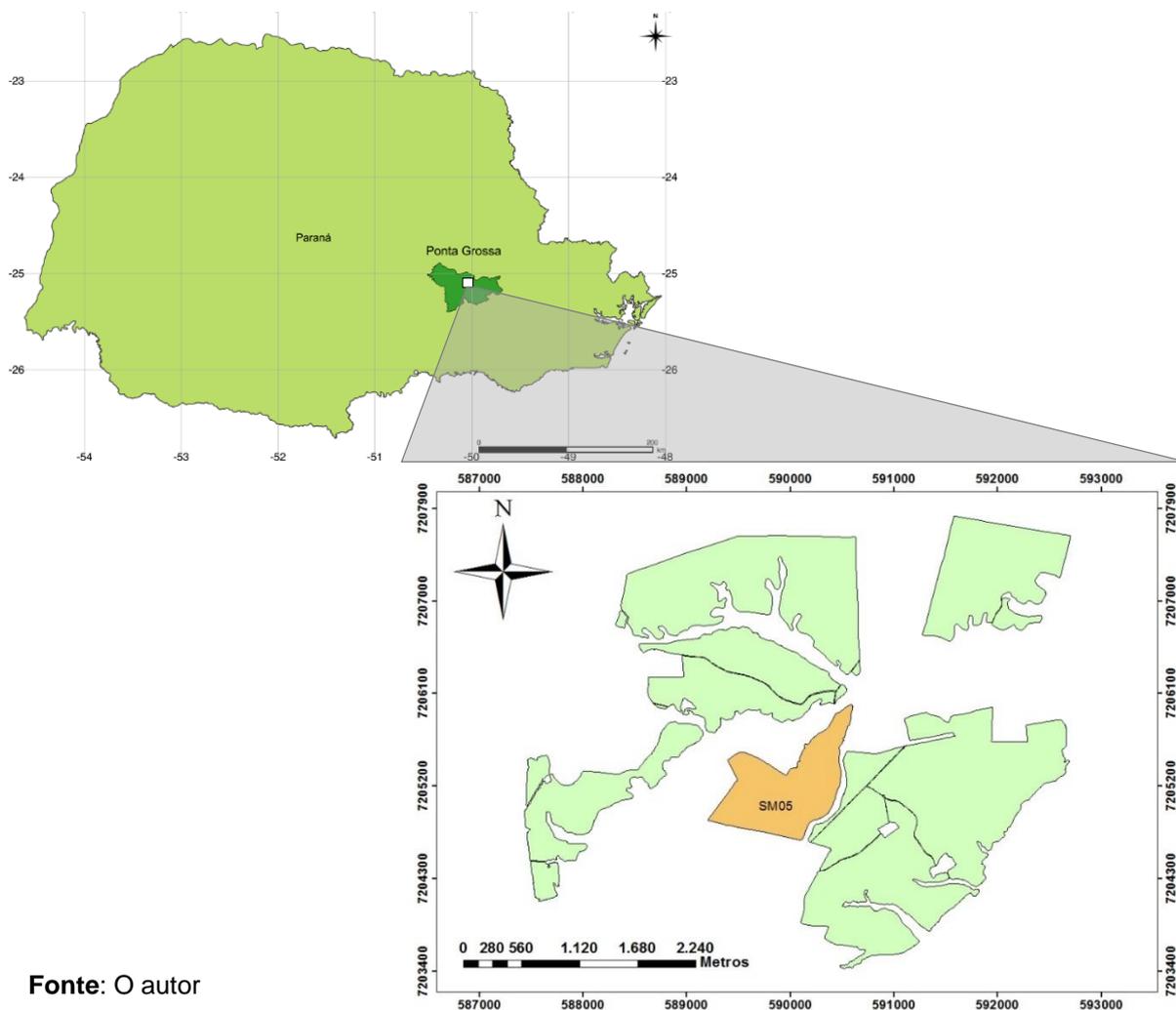
3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Descrição do local do experimento

3.1.1 Localização

O estudo foi conduzido com base em dados coletados no período de 2008 a 2016 no município de Ponta Grossa, Estado do Paraná, como ilustrado na Figura 3, na Fazenda Santa Maria, localizada ao sul do município com as seguintes coordenadas geográficas: SIRGAS 2000 UTM Zona 22 S - 7205200 N / 590000 L e altitude média de 900m. Esta área está inserida na região conhecida como Campos Gerais no estado do Paraná.

Figura 3 – Localização Fazenda Santa Maria na cidade de Ponta Grossa-PR e distribuições dos talhões na fazenda com ênfase no talhão SM05.



Fonte: O autor

A fazenda possui uma área total de 1.416,83 ha. A área produtiva é dividida em 11 talhões, totalizando 953,29 ha.

A área estudada corresponde ao talhão denominado SM05, em destaque na Figura 3. Durante o período de estudo, este talhão apresentou área total de 80,17 ha. Em 2015 uma parte interna do talhão foi utilizada para um experimento independente, por este motivo, esta área foi desconsiderada neste trabalho.

3.1.2 Clima

A área estudada possui clima Subtropical Húmido Mesotérmico, Cfb, segundo a classificação climática de Köppen-Geiger, apresentando temperatura média no mês mais frio abaixo de 18°C, com verões frescos, temperatura média no mês mais quente abaixo de 22°C, sem estação seca definida, com tendência à concentração de chuvas no verão e geadas no inverno (PREFEITURA MUNICIPAL DE PONTA GROSSA, 2006). As informações do clima da região foram coletadas pela estação do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) mantida na cidade de Lapa/PR desde 1989 (ESTACAO: LAPA / CODIGO: 02549091 / LAT: 25.47 S / LONG: 49.46 W / ALT: 910 M).

A região apresenta precipitação anual média de 1646 mm com chuvas bem distribuídas ao longo dos meses de setembro a fevereiro. O mês que historicamente apresentou maior precipitação foi o mês de janeiro com média de 204,3 mm e agosto foi o mês com menor precipitação, com média de 87,1 mm, e menor dias de chuva, 8 dias. Os meses de novembro e dezembro apresentaram a maior taxa de evapotranspiração sendo, respectivamente, 75,2 e 77,7 mm.

As Tabelas 2 e 3 ilustram as médias de temperatura, precipitação e outros dados climáticos registrados pela estação meteorológica do Instituto Agrônomo do Paraná, desde 1989.

Tabela 2 –Dados de média das temperaturas, registradas pela estação meteorológica do Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR) de 1989 a 2017.

Mês	Temperatura (°C)		
	Média Máxima	Média Mínima	Média Comp.
Janeiro	26,8	16,9	20,7
Fevereiro	26,7	17,2	20,7
Março	25,7	16,1	19,7
Abril	23,8	14,2	17,7
Maio	20,1	10,7	14,4
Junho	19,1	9,6	13,3
Julho	19,3	8,8	12,9
Agosto	21	9,8	14,3
Setembro	21,2	11,3	15,2
Outubro	23	13,5	17,2
Novembro	24,9	14,6	18,6
Dezembro	26,2	16,2	20,2
MÉDIA ANUAL	23,2	13,2	17,1

Fonte: Adaptado de IAPAR (2017)

Tabela 3 – Dados históricos de umidade relativa, precipitação e evapotranspiração registrados pela estação meteorológica do Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR) de 1989 a 2017.

Mês	U.REL	PRECIPITACAO		EVAPOR.
	Média %	Total (mm)	Dias Chuva	Total (mm)
Janeiro	85	204,3	17	67,6
Fevereiro	84	174,1	16	56
Março	83	137,2	13	60,5
Abril	83	101	9	56,6
Maio	84	98,3	9	48,2
Junho	85	128,5	10	46,1
Julho	82	121,6	10	53,9
Agosto	78	87,1	8	71,9
Setembro	80	155,8	12	66,6
Outubro	82	164,9	13	63,9
Novembro	79	120,5	12	75,2
Dezembro	80	152,7	14	77,7
MÉDIA ANUAL	82	1646	144	744

Fonte: Adaptado de IAPAR (2017)

De acordo com as características climáticas da região, a época indicada pelo IAPAR para a semeadura da cultura da soja é de 21 de outubro à 31 de dezembro, embora a área foi semeada no mês anterior ao indicado.

3.1.3 Solo

A Fazenda apresenta uma variação em relação à altitude que atinge valores de 790 m a 920 m em relação ao nível do mar. Também apresenta uma grande variação em relação ao tipo de solo sendo que no território da Fazenda pode-se encontrar desde formações de Latossolos Vermelhos Distroférico até Neossolo Litólico e alguns solos de formações intermediárias. A área estudada também apresenta acentuada variação na altitude, sendo que o ponto mais baixo está a 794 m de altitude o mais alto a 840 m neste talhão. Mesmo apresentando variação de textura do solo, a área apresenta características predominantes de Latossolo Vermelho Distroférico.

3.1.4 Histórico da área

A Fazenda onde a área estudada está localizada adota sistema de plantio direto e realiza rotação utilizando as culturas da soja, milho, trigo, aveia, cevada e canola. Na área estudada as rotações utilizaram as culturas de soja, milho, trigo e cevada apenas. A Tabela 4 apresenta o histórico da área apontando as culturas implantadas na 1ª safra (verão) e na 2ª safra (inverno) para cada ano agrícola. A tabela também ilustra as variações da área do talhão ao longo dos anos. Estas modificações foram realizadas para melhor atender a atividade logística da Fazenda. Além disso apresenta a produção total de cada ano e a produtividade. A produção apresentada nesta tabela corresponde à medição realizada na balança dos caminhões transportando os grãos e foram confrontados com a produtividade obtida pelos monitores de colheita para averiguar sua acurácia e também para realização de ajustes dos erros inerentes do processo de determinação de produção dos monitores de produtividade. Estes dados foram coletados e fornecidos pela própria fazenda.

Tabela 4 – Histórico da área estudada.

Safra	Cultura	Produtividade (kg/ha)
Safra 16/17	Milho	13.335,48
Safra 15/16	Soja	3.597,11
Safra 14/15	Soja	4.160,28
Safra 14/14*	Trigo	4.060,00
Safra 13/14	Milho	13.426,94
Safra 12/13	Soja	4.287,40
Safra 11/12	Soja	3.955,41
Safra 11/11*	Cevada	4.095,30
Safra 10/11	Soja	2.807,63
Safra 10/10*	Trigo	4.262,49
Safra 09/10	Milho	9.862,43
Safra 08/09	Soja	3.284,27
Safra 08/08*	Trigo	4.185,58
Safra 07/08	Milho	10.094,55

* Cultura de inverno

Fonte: K2Agro (2017)

3.2 Material

3.2.1 Dados de produtividade

O comportamento da produtividade da cultura da soja no talhão selecionado no período de 2008 a 2016, utilizou-se as informações de produtividade das safras de 08/09, 10/11, 11/12, 12/13, 14/15 e 15/16, totalizando 6 mapas de produtividade. Mesmo havendo variação na área do talhão durante os anos, nestes anos a área total do talhão permaneceu constante e cerca de 80,17 ha, sendo que o contorno padrão utilizado para referência geográfica neste estudo corresponde ao contorno utilizado pela empresa na safra de 15/16. O talhão foi dividido em subáreas identificadas como SM5a e SM5b.

As condições da coleta dos dados foram as condições normais de operação da fazenda durante o período considerado neste estudo. Os equipamentos utilizados para a operação de colheita durante a coleta dos dados foram as colhedoras automotrizes CASE modelos 8120, Axial Flow 2799 e Axial Flow 8230 equipadas com o sistema de monitoramento AFS (Advanced Farming System) e sensores TRIMBLE.

Nas safras anteriores ao ano de 2013, a frequência utilizada nos monitores de colheita foi 1 ponto coletado a cada 1 segundo de operação. A partir de 2014, a frequência passou a ser de 1 ponto a cada 2 segundos de operação.

Durante as operações de colheita, o sistema de monitoramento registrou, entre outras, informações de umidade do grão, fluxo de massa colhida, largura da plataforma de corte, distância percorrida, temperatura do grão, massa do grão úmido, massa do grão seco e as coordenadas geográficas de um ponto representando a área colhida no momento. Estas informações permitem o cálculo da produtividade em cada área em relação a umidade do grão em condições de armazenamento, que no caso da soja foi fixado a 13%.

Durante a operação foi realizada as calibrações do sensor de umidade de acordo com as indicações do fabricante todas as vezes que a colhedora mudava de área ou cultura.

Para a preparação dos dados de produtividade os arquivos foram importados nos softwares SMS, do fabricante AgLeader, e o software AFS, do fabricante CASE (CNH). Após importar os arquivos da colhedora no software eles foram convertidos para o formato .TXT (textfile) e então importados no software Microsoft Access 2007 para análise. Os dados foram formatados e os pontos considerados discrepantes foram eliminados. A determinação dos pontos discrepantes variou de acordo com o ano. O critério adotado pela fazenda foi subjetivo, baseia-se na experiência e no bom senso do administrador e se deu em função da produtividade média do talhão e da região no ano em questão utilizando as informações de massa seca dos grãos colhidos.

Após a exclusão dos pontos discrepantes, o arquivo foi exportado no formato .DBF (database file) constando a latitude e longitude de cada ponto para serem finalmente importados no software ArcGIS para geração dos mapas temáticos.

3.2.2 Dados dos atributos do solo

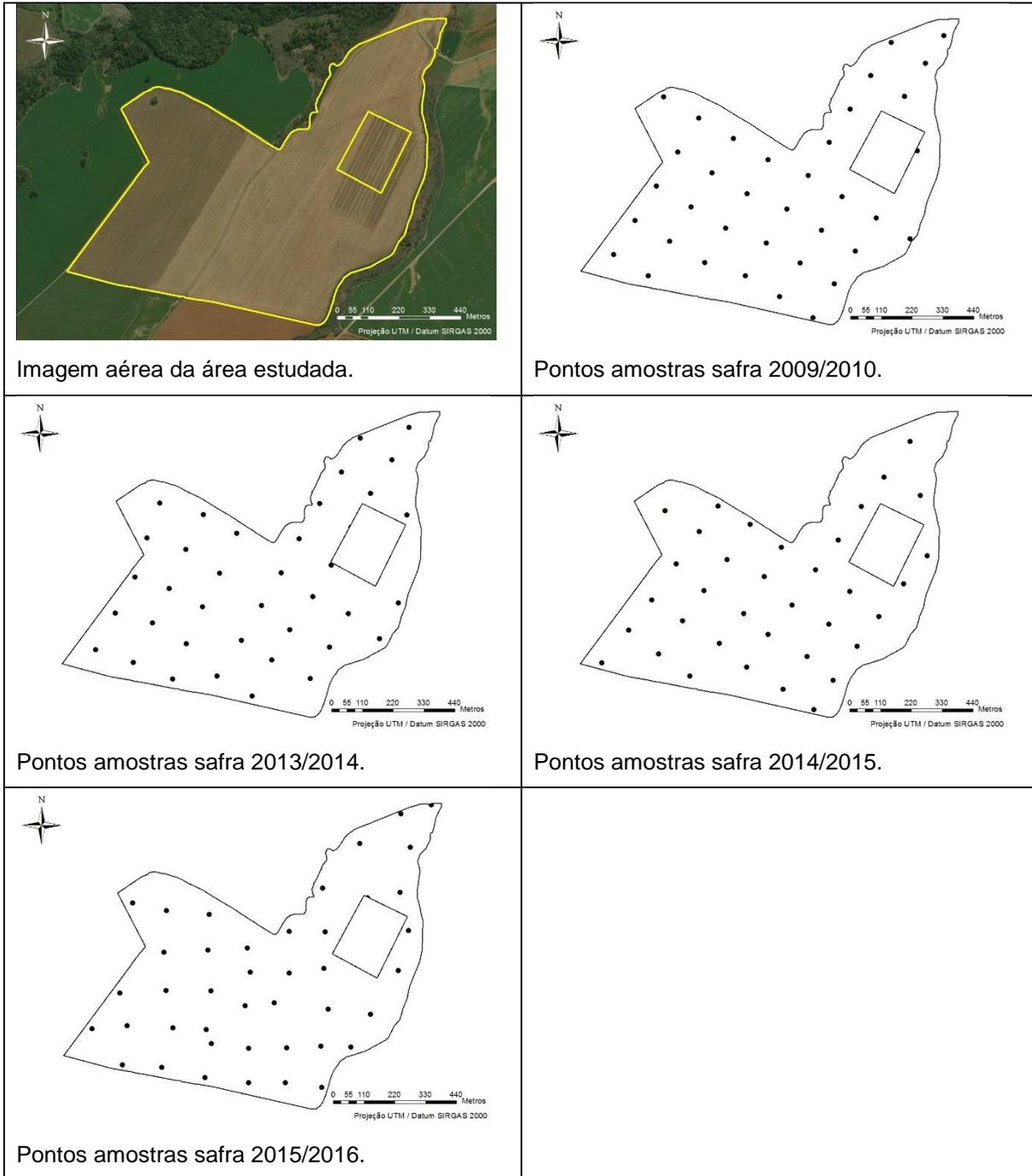
Os atributos químicos e físicos do solo foram coletados pela própria fazenda em condições normais de produção entre o período de 2008 e 2016, adotando o procedimento de amostragem em grade amostral regular de uma amostra a cada 3 ha até o ano de 2011 e de uma amostra a cada 2 ha a partir de 2012.

As análises laboratoriais foram realizadas para a determinação dos teores dos seguintes componentes: pH, H + Al, Al, Ca, Mg, K, Saturação por Bases (SB),

Capacidade de Troca de Cátions (CTC), P, Matéria Orgânica (M.O.) e V%. Também foi utilizado o mapa de CE do talhão, fornecido pela fazenda.

Na Figura 4 apresenta-se uma referência aérea do talhão e também a localização dos pontos de amostragem de cada ano.

Figura 4 – Imagem aérea da área estudada e localização dos pontos amostrais de cada safra.



As amostragens foram realizadas nas safras de 09/10, 13/14, 14/15 e 15/16, sendo que, para cada ano, utilizou-se grades diferentes. Na safra de 13/14, a amostragem de solo foi realizada antes da implantação da cultura do milho, mas foram utilizados neste estudo pois servem para acompanhar a evolução dos atributos do solo da área estudada.

Utilizou-se como ponto teórico georreferenciado o centro de cada célula da grade amostral. Cada ponto teórico continha a posição geográfica de uma amostra composta constituída de 8 amostras simples, também chamadas de sub-amostras, a uma distância de aproximadamente 10 m do ponto teórico georreferenciado.

O equipamento utilizado para a coleta das amostras simples foi o equipamento comercial SACI Trail® que utiliza uma broca para a coleta da amostra. O Equipamento foi instalado em um quadriciclo da marca Honda FourTrax, conforme ilustrado nas Figuras 5.

Figura 5 – Ilustração do equipamento SACI Trail® de acionamento automático



Fonte: Fabricante

Até 2011 o georreferenciamento das amostras foi determinado utilizando o coletor TRIMBLE Juno e, posteriormente, foi utilizado o aplicativo SST SIRRUS da empresa SST Software, instalado em um iPad com a funcionalidade de comunicação GPRS 3G. As informações foram inseridas no software SST Summit de forma manual quando utilizado o coletor TRIMBLE Juno ou por sincronização com o servidor, no caso do SST SIRRUS. Em alguns casos os softwares SST Toolbox e SMS (AgLeader) também foram utilizados para se construir a tabela dos dados das propriedades químicas do solo com cada ponto georreferenciado amostrado.

Após a análise laboratorial as informações referentes ao teor dos nutrientes foram inseridas no software adicionando-se aos pontos georreferenciamento de cada amostra em uma tabela e o arquivo foi exportado nos formatos .SHP (*shapefile*) para mapeamento em SIG e no formato .XLSX (Microsoft Excel) para análise estatística e correlações.

3.3 Metodologia

3.3.1 Análise estatística descritiva dos dados

Os dados de produtividade da soja de cada ano estudado foram submetidos à análise estatística descritiva utilizando o programa Microsoft Excel. Desta forma determinou-se a média, variância e o desvio padrão da coluna correspondente à massa seca que, por sua vez é determinada utilizando os dados de massa úmida do grão no momento colheita e a umidade do grão também medida no momento da colheita. O cálculo da massa seca foi realizado pelo próprio equipamento e o cálculo padroniza a massa de grãos para uma umidade padrão de 13%.

Também foi submetida à análise estatística descritiva os dados relativos à análise química do solo separadamente para cada ano em que a amostragem de solo foi realizada na área estudada. Para estas características também foram determinadas a média, variância e desvio padrão.

3.3.2 Geoestatística e interpolação dos dados

Os arquivos em formato .DBF (*database file*), contendo as informações de produtividade, foram importados no programa ArcGIS 10.4 e a localização de cada ponto foi plotada no mapa de acordo com suas coordenadas geográficas já registradas na tabela com 8 casas decimais. A grade amostral então foi convertida para o formato .SHP.

Para determinar o mapa de produtividade da área através da interpolação dos dados, primeiramente foi estudado o variograma dos dados para verificar se apresentavam dependência espacial. Quando os dados apresentaram dependência espacial e atendiam os requisitos necessário para a utilização do método da Krigagem para a interpolação dos dados, este método foi utilizado. Nos casos onde os requisitos

não foram atendidos, utilizou-se o método do inverso da distância ao quadrado para realizar a interpolação.

Em ambos os casos se utilizou o contorno do talhão como máscara e as células para o formato raster foram definidas a 10m X 10m.

Para a representação do mapa de produtividade, as células foram classificadas de acordo com 3 categorias seguindo os parâmetros utilizados por Molin (2002):

- a) alta: produtividade da célula acima de 110% da média do talhão;
- b) média: produtividade da célula entre 90% e 110 da média do talhão;
- c) baixa: produtividade da célula abaixo de 90% da média do talhão.

Considerou-se como média aritmética da produtividade o valor absoluto da média da produtividade considerando todos os anos estudados. Assim o mesmo valor foi utilizado como referência para a classificação em todos os mapas.

Já, para os mapas de atributos químicos do solo, as categorias foram separadas de acordo com a classificação agronômica de fertilidade e recomendação para a cultura da soja para cada nutriente segundo a EMBRAPA (2013).

Tanto para os mapas de produtividade quanto para os mapas de características do solo, foi utilizado o mesmo contorno como máscara para interpolação. Este contorno foi padronizado como a configuração do talhão no ano de 2016. Para a interpolação foi utilizado células de 10m X 10m em todas as ocasiões para ser possível utilizar a ferramenta de Álgebra de Mapa posteriormente. Esta ferramenta exige que as operações matemáticas definidas aconteçam em cada célula que se sobrepões umas às outras perfeitamente. Por isso existe a necessidade de que os mapas interpolados utilizem o mesmo contorno e o mesmo padrão de grade de células no formato raster ou matricial.

3.3.3 Álgebra de Mapas

Uma vez que os mapas de produtividade de cada ano foram interpolados utilizando células de 10m x 10m, utilizou-se a ferramenta de Álgebra de Mapas do software ArcGIS 10.4 para confeccionar um mapa onde o valor de cada célula representa a média aritmética dos valores da respectiva célula dos mapas interpolados de cada ano. A Equação 1 foi utilizada na ferramenta de Álgebra de Mapas para a determinação da média da produtividade em cada célula.

Equação 1

$$\frac{\text{safra 2009} + \text{safra 2011} + \text{safra 2012} + \text{safra 2013} + \text{safra 2015} + \text{safra 2016}}{6}$$

Como a cultura estudada foi a soja, e os dados selecionados para a confecção dos mapas de produtividades de cada ano são referentes apenas a esta cultura, não houve a necessidade de se utilizar a ferramenta de normalização para padronização dos dados. Assim a análise comparativa entre os anos foi realizada utilizando os valores de produtividade de acordo com cada ano.

O mesmo foi realizado com os mapas das características químicas e físicas do solo, os mapas dos anos analisados foram utilizados para a criação do mapa de média e coeficiente de variação.

3.3.4 Correlações

Os dados de produtividade contendo a média dos anos analisados foram correlacionados com os mapas das médias das características químicas do solo. Através da análise de correlação procurou-se determinar a influência que cada variável estudada apresenta na produtividade da cultura nas condições estudadas.

A metodologia utilizada para correlacionar a produtividade e os outros atributos foi a Regressão Linear Simples, sendo a produtividade a variável dependente e os outros atributos as variáveis independentes ou variáveis explanatórias. O modelo utilizado foi o modelo da estimativa da regressão. Este modelo é utilizado quando utilizamos amostras e não dados da população inteira para estabelecer as relações entre as variáveis, e é expresso pela Equação 2:

Equação 2.

$$\hat{y} = a + bx$$

Onde \hat{y} representa o valor estimado da variável dependente, a é o valor estimado do termo constante, b o valor estimado da inclinação e x o valor estimado da variável independente (MANN, 2012).

Para a determinação da correlação dos dados, os mapas das médias de cada atributo foram exportados novamente em formato de tabela .TXT (*textfile*), .CSV

(*comma separeted values*) ou mesmo em .DBF, importados no programa Microsoft Excel e então submetidos à análise de correlação.

3.3.5 Determinação das Zonas Homogêneas de Manejo

As ZHM foram determinadas pelo agrupamento das áreas que apresentaram características semelhantes de produtividade considerando a média da produtividade do período analisado e também o coeficiente de variação em cada região. Da mesma forma regiões de textura de solo semelhante foram agrupadas, assim como regiões de teores de nutrientes semelhantes ao longo do período estudado. Em todos os casos, além da média aritmética dos valores de cada célula dos anos anteriores, também foram considerados o coeficiente de variação na determinação das zonas homogêneas.

Ao final os mapas das regiões das principais características foram analisados e as ZHM foram determinadas a partir da relação e correlação das características estudadas levando em consideração não apenas a variabilidade espacial, mas também a temporal.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise estatística descritiva e tratamento dos dados

As Tabelas 5, 6, 7 e 8, apresentam o resultado das análises químicas do solo de cada ano.

Em relação à variabilidade espacial do teor dos elementos na lavoura em cada ano, observa-se que o teor de Al durante os anos apresentou queda no valor do coeficiente de variação (CV). Isto pode ter sido resultado da aplicação de corretivos em taxa variável visando aumentar a homogeneização do pH do solo ao longo do talhão.

Elementos que apresentam maior solubilidade no solo como Ca, Mg e K, apresentaram CV em torno de 30 a 40%. Já o P, elemento de baixa solubilidade, apresentou CV de 45 a 60% durante o período estudado. Apesar disto, a média destes nutrientes se apresentou relativamente constante, apresentando pequenas variações ao longo dos anos analisados.

Tabela 5 – Resultado da análise estatística descritiva dos atributos químicos do solo no ano de 2009.

Atributo	Amostras	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Pad	CV (%)
pH	39	4,30	5,90	5,13	0,356	6,94%
H+Al	39	24,73	92,89	44,72	12,000	26,83%
Al	39	0,00	26,52	2,40	5,231	217,58%
Ca	39	14,80	56,00	29,31	10,080	34,39%
Mg	39	7,90	29,80	16,22	5,245	32,34%
K	39	2,00	7,10	4,16	1,214	29,20%
SB	39	25,60	89,00	49,69	15,341	30,88%
CTC	39	77,16	121,99	94,41	9,842	10,42%
P	39	10,00	57,00	24,05	13,263	55,14%
MO	39	29,08	51,52	39,57	4,621	11,68%
V%	39	23,85	73,42	52,12	12,825	24,61%

Tabela 6 – Resultado da análise estatística descritiva dos atributos químicos do solo no ano de 2013.

Atributo	Amostras	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Pad	CV (%)
pH	41	4,70	5,70	5,23	0,241	4,61%
H+Al	41	27,00	60,00	41,90	7,839	18,71%
Al	41	0,00	7,00	1,24	1,605	129,00%
Ca	41	15,00	51,00	30,15	8,828	29,28%
Mg	41	8,00	36,00	17,12	5,790	33,82%
K	41	1,50	7,00	3,25	1,156	35,53%
SB	41	26,90	90,50	50,52	14,455	28,61%
CTC	41	71,60	133,50	92,42	12,426	13,44%
P	41	11,00	68,00	23,76	13,824	58,19%
MO	41	22,00	35,00	27,17	3,223	11,86%
V%	41	32,00	71,00	53,95	10,116	18,75%

Tabela 7 – Resultado da análise estatística descritiva dos atributos químicos do solo no ano de 2015.

Atributo	Amostras	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Pad	CV (%)
pH	40	4,50	5,80	4,86	0,266	5,48%
H+Al	40	36,00	109,00	66,23	15,282	23,08%
Al	40	0,00	16,50	3,11	3,367	108,18%
Ca	40	13,00	53,00	26,98	11,024	40,87%
Mg	40	5,00	23,00	11,63	4,054	34,87%
K	40	1,60	5,80	2,99	0,882	29,50%
SB	40	20,20	77,20	41,59	14,566	35,02%
CTC	40	80,80	154,00	107,82	15,782	14,64%
P	40	8,00	59,00	23,00	10,618	46,17%
MO	40	24,00	43,00	31,90	3,506	10,99%
V%	40	17,00	67,00	38,45	11,274	29,32%

Tabela 8 – Resultado da análise estatística descritiva dos atributos químicos do solo no ano de 2016.

Atributo	Amostras	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Pad	CV (%)
pH	45	4,50	5,50	4,90	0,202	4,11%
H+Al	45	29,00	98,00	51,67	13,113	25,38%
Al	45	0,00	12,00	2,36	2,476	105,00%
Ca	45	8,00	60,00	24,60	10,089	41,01%
Mg	45	4,00	29,00	12,51	5,036	40,25%
K	45	1,60	4,40	2,94	0,824	28,02%
SB	45	14,80	92,10	40,05	14,942	37,31%
CTC	45	69,00	136,30	91,72	15,719	17,14%
P	45	9,00	101,00	28,73	15,601	54,30%
MO	45	26,00	46,00	36,09	4,471	12,39%
V%	45	15,00	76,00	43,18	11,192	25,92%

Na Tabela 9 expõe-se os resultados da análise estatística descritiva realizada para os dados de produtividade para as safras de 2008/2009, 2010/2011, 2011/2012, 2012/2013, 2014/2015 e 2015/2016, com base nos pontos gerados pela colhedora durante a operação.

Tabela 9 - Resultados da análise estatística descritiva para os dados de produtividade.

Safra	Amostras	Mínimo (a)	Máximo (a)	Soma (b)	Média (a)	Desvio Pad.	CV (%)
2009	38474	0,34	13,19	131142	3,408599	0,720368	21,13%
2011	34859	0,34	13,41	111079	3,186527	0,739625	23,21%
2012	54159	0,338	13,43	226685	4,18555	1,321029	31,56%
2013	76695	0,338	13,43	339382	4,425086	1,115804	25,22%
2015	68979	0,337	13,44	304023	4,407474	1,377802	31,26%
2016	52992	0,337	13,44	189045	3,567431	1,110637	31,13%

(a) = t/ha. (b) toneladas

Observa-se que os maiores índices de produtividade foram atingidos nos anos de 2013, 2015 e 2012 respectivamente indicados pela Média. O CV permaneceu em torno de 20 a 30% ao longo dos anos estudados.

A Tabela 10 apresenta o resultado da análise estatística descritiva da porcentagem de argila e areia. A amostragem foi realizada no ano de 2009.

Tabela 10 – Resultado da análise estatística descritiva da textura do solo da área estudada

Atributo	Amostras	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Pad	CV (%)
Argila	13	34,10	45,05	39,35	3,388	8,61%
Areia	13	28,30	51,00	41,60	6,220	14,95%

A Tabela 11 apresenta o desvio da precipitação de cada mês no período de 2008 a 2016 em relação à média histórica. Já a Tabela 12 apresenta as informações contidas na Tabela 11 enfatizando a média do desvio da precipitação apenas nos meses de safra da cultura da soja, iniciando no mês de setembro, quando a cultura foi semeada, até o mês de fevereiro do ano seguinte.

Tabela 11 – Desvio da precipitação de cada mês em relação à média histórica no período de 2008 a 2017.

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Janeiro	-100	50	50	-50	50	-100	50	50	-50	-50
Fevereiro	-100	50	50	150	-50	150	-50	100	100	-50
Março	-50	-150	100	-100	-100	50	-50	50	50	-50
Abril	50	-100	200	-50	100	50	-50	-50	-50	50
Maio	-50	-50	-50	-100	-50	-50	50	50	100	
Junho	50	-50	-50	50	150	250	150	-50	-50	
Julho	-50	200	50	150	-50	50	-100	200	-50	
Agosto	50	50	-50	250	-100	-50	50	-50	150	
Setembro	-100	200	-50	-100	-50	50	100	-50	-100	
Outubro	100	50	50	100	50	-50	-150	50	-50	
Novembro	-100	100	-100	-50	-50	-50	50	150	-50	
Dezembro	-150	-50	100	-50	50	-100	150	100	50	

*Unidade de medida: mm

Fonte: IAPAR

Tabela 12 - Desvio da precipitação de cada mês em relação à média histórica no período de safra da cultura da soja.

	2008/ 2009*	2009/ 2010	2010/ 2011*	2011/ 2012*	2012/ 2013*	2013/ 2014	2014/ 2015*	2015/ 2016*	2016/ 2017
Agosto	50	50	-50	250	-100	-50	50	-50	150
Setembro	-100	200	-50	-100	-50	50	100	-50	-100
Outubro	100	50	50	100	50	-50	-150	50	-50
Novembro	-100	100	-100	-50	-50	-50	50	150	-50
Dezembro	-150	-50	100	-50	50	-100	150	100	50
Janeiro	50	50	-50	50	-100	50	50	-50	-50
Fevereiro	50	50	150	-50	150	-50	100	100	-50
MÉDIA	-14,3	64,3	7,1	21,4	-7,1	-28,6	50,0	35,7	-14,3

*Anos em que a cultura da soja foi cultivada.

Unidade de medida: mm

Fonte: IAPAR

Nestas duas tabelas observamos a variação da precipitação dentro do período de safra. Com esta informação podemos notar que, mesmo quando a média de precipitação durante o período todo da safra é maior que a média histórica, a cultura passa por meses com pouca precipitação. Isto ocorreu nas safras de 2010/2011, 2011/2012, 2014/2015 e 2015/2016. O estudo desta variação da precipitação dentro do período de safra deve ser considerado e se mostra mais importante do que apenas a média de precipitação total durante o período de safra.

A fase de germinação e enchimento de grão são as fases em que a planta de soja é mais sensível à falta e ao excesso de humidade no solo. Sendo assim, espera-se que a precipitação nos meses de agosto e setembro, meses que precedem o plantio da cultura, tenham grande influência na produtividade da cultura no final da safra.

Esta relação parece ser evidenciada com a comparação da produtividade das safras de 2011/2012 e 2014/2015, que tiveram maior precipitação nestes meses e também apresentaram maior produtividade quando comparadas com as safras de 2015/2016 e 2010/2011.

A safra 2012/2013 apresentou alta produtividade pois a semeadura foi adiada devido à falta de precipitação nos meses de agosto e setembro.

4.2 Análise espacial

Interpolando os pontos gerados pelo monitor de produtividade os mapas foram gerados com os dados de cada ano separadamente e então utilizou-se a ferramenta de álgebra de mapas do software ArcGIS para confeccionar o mapa da média das produtividades anteriores. Este mapa médio foi gerado de forma que cada célula representa a média aritmética dos valores de cada célula dos mapas de cada ano. As Figuras 6, 7, 8, 9, 10 e 11 apresentam respectivamente os mapas de produtividades dos anos de 2008/2009, 2010/2011, 2011/2012, 2012/2013, 2014/2015 e 2015/2016.

Já a Figura 12 apresenta o mapa com os valores médios de produtividade em cada célula para todos os anos considerados, assim como apresentado na Equação 1.

A legenda utilizada em todos os mapas baseia-se na legenda utilizada no mapa da média da produtividade que, por sua vez, utilizou o critério baseado em uma vez o desvio padrão para definir as categorias.

Figura 6 – Mapa representando a produtividade da soja na safra 2008/2009.

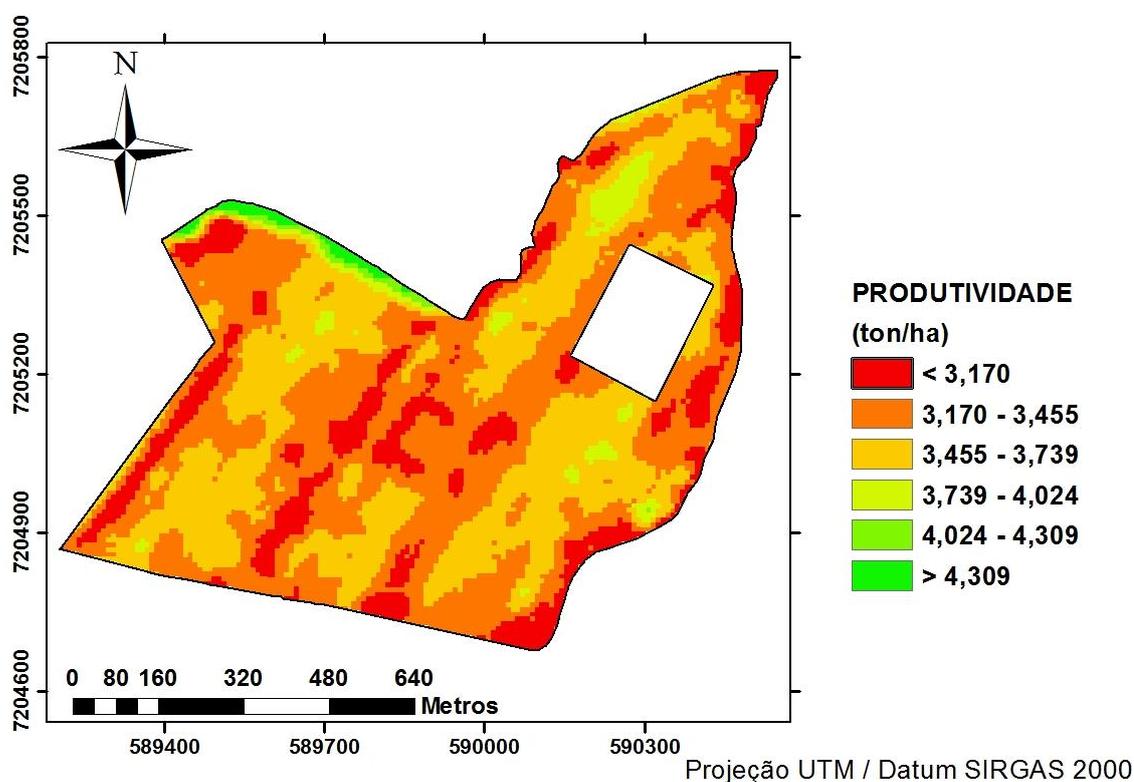


Figura 7 – Mapa representando a produtividade da soja na safra 2010/2011.

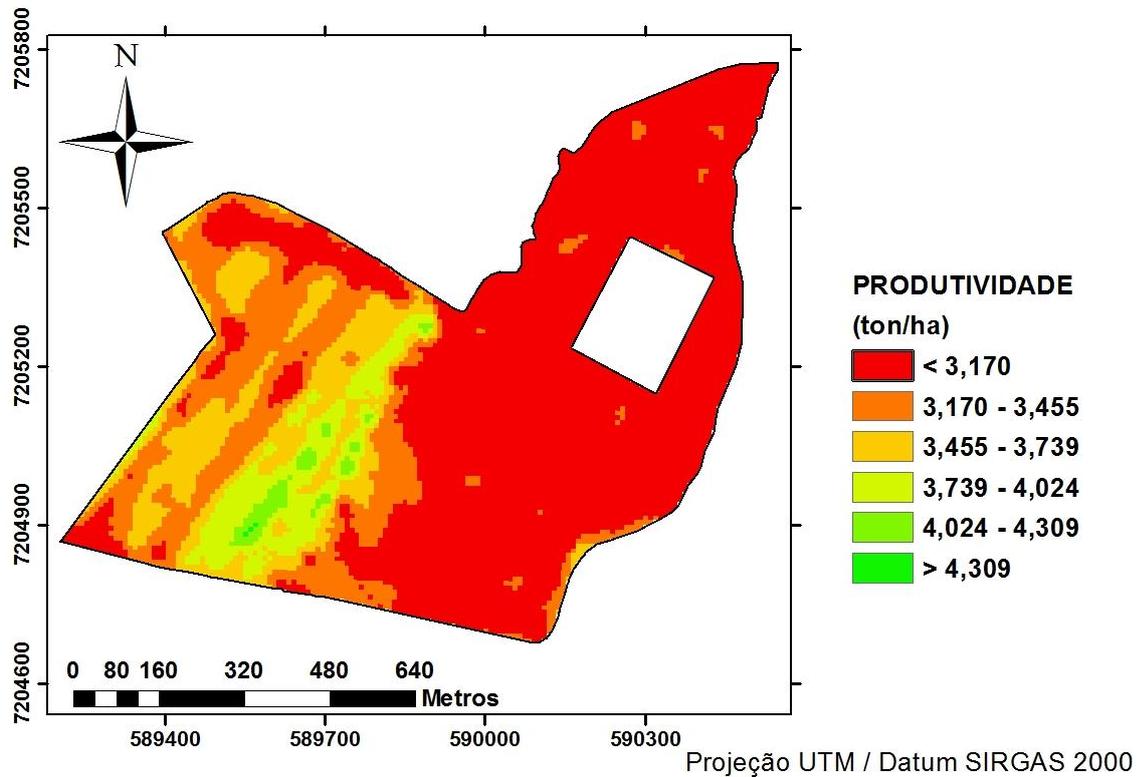


Figura 8 – Mapa representando a produtividade da soja na safra 2011/2012.

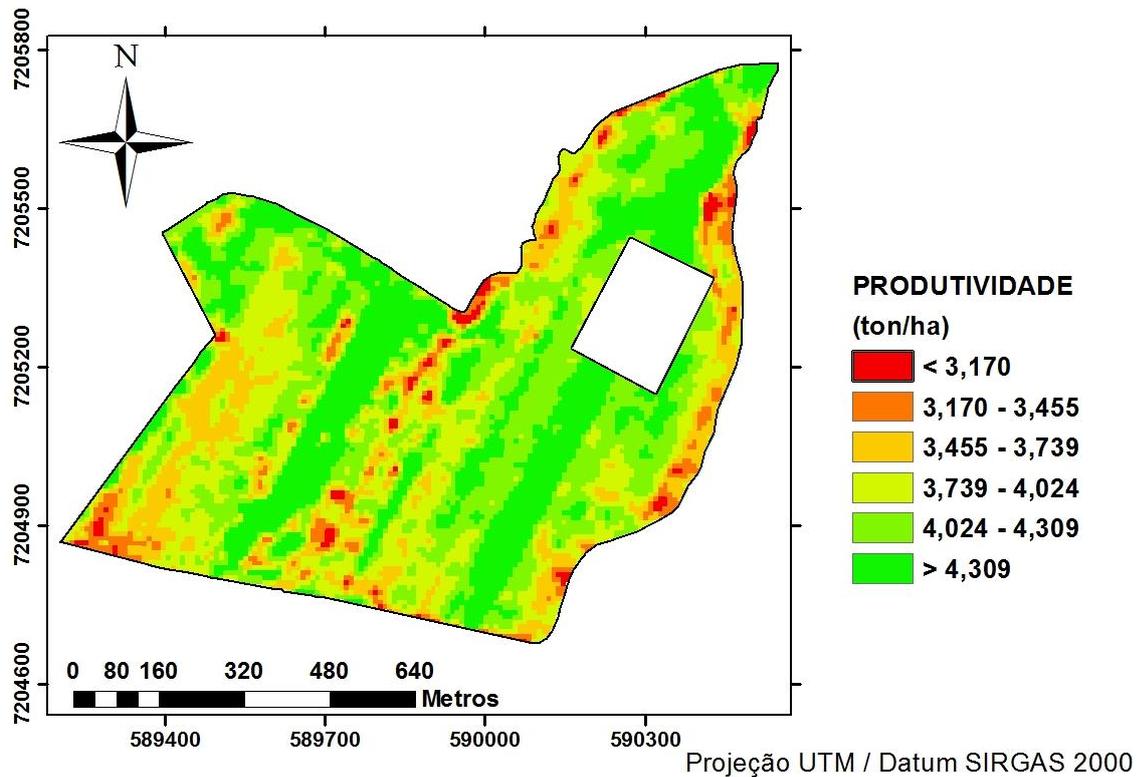


Figura 9 – Mapa representando a produtividade da soja na safra 2012/2013.

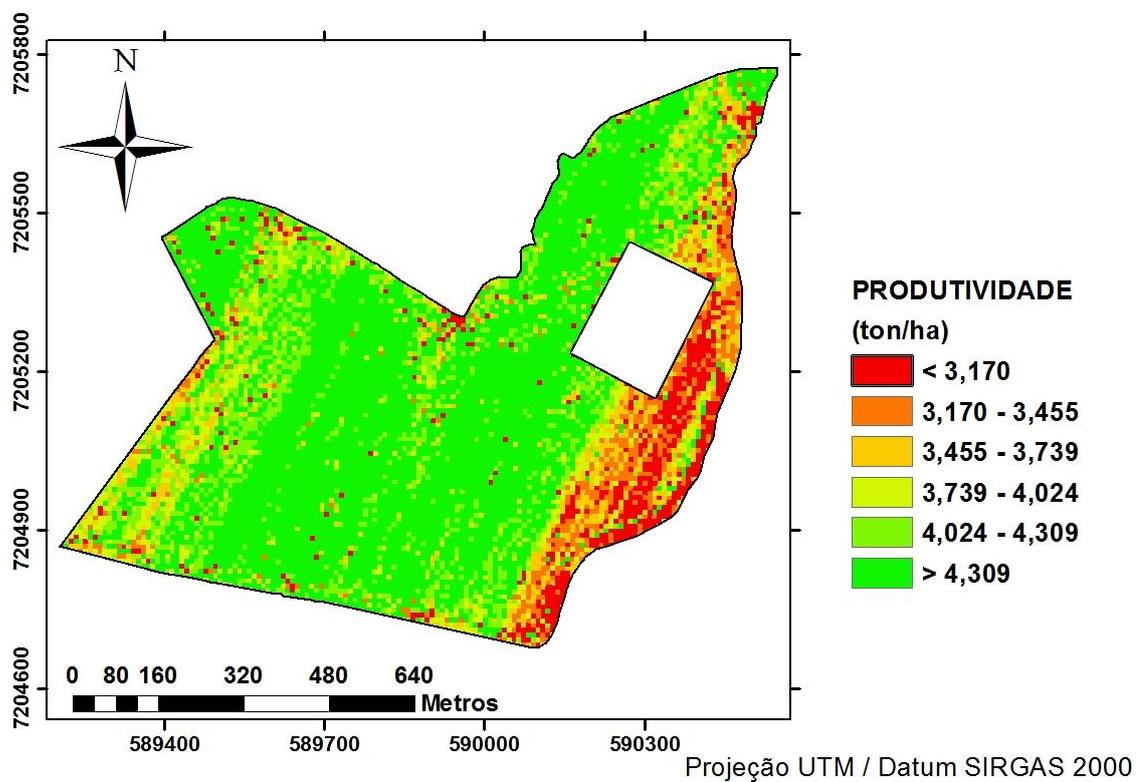


Figura 10 – Mapa representando a produtividade da soja na safra 2014/2015.

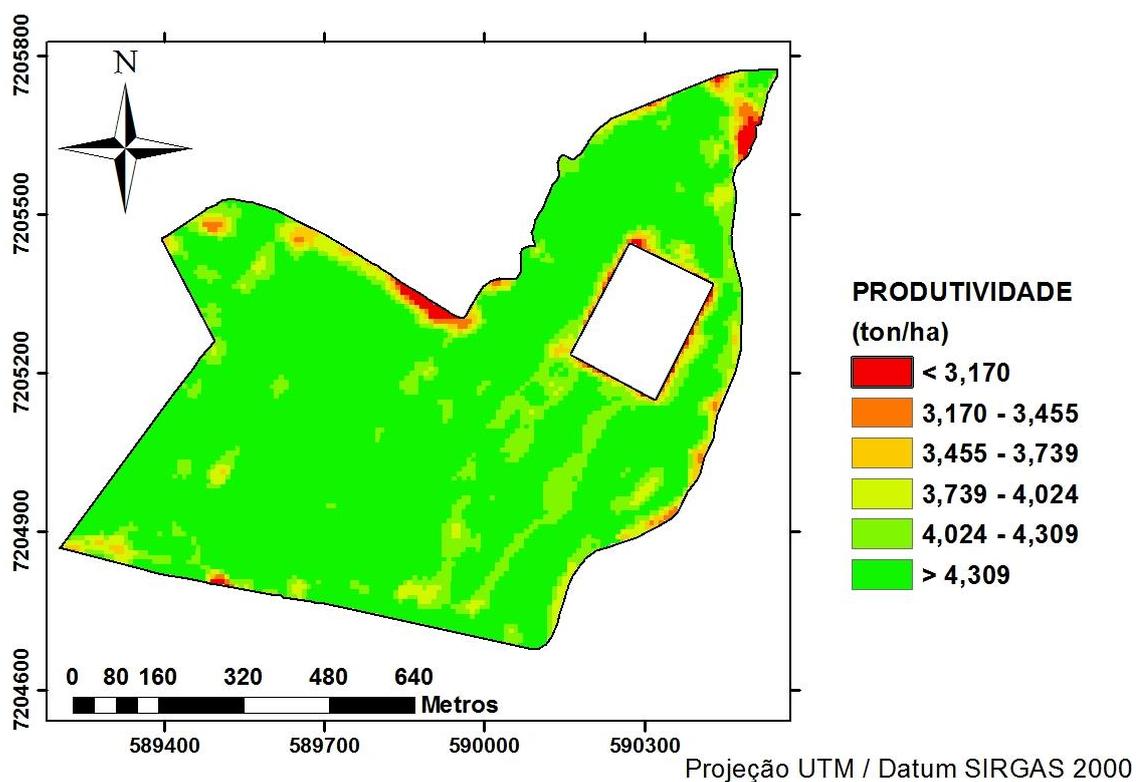


Figura 11 – Mapa representando a produtividade da soja na safra 2015/2016.

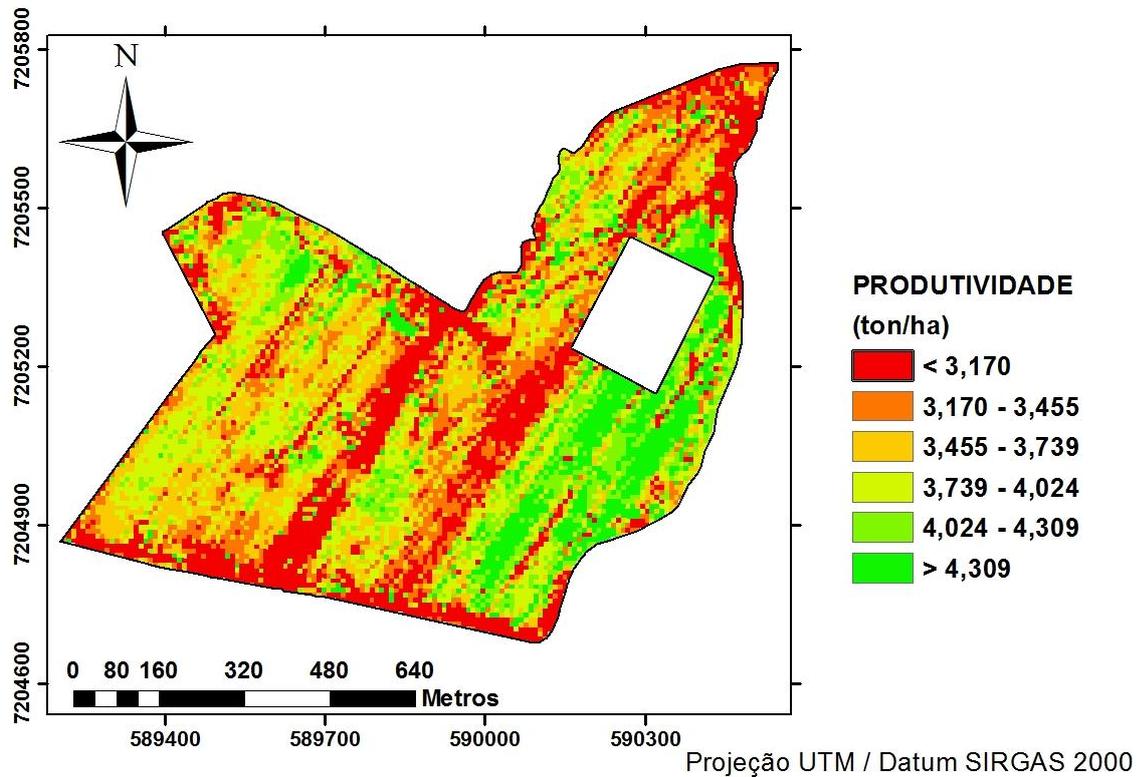
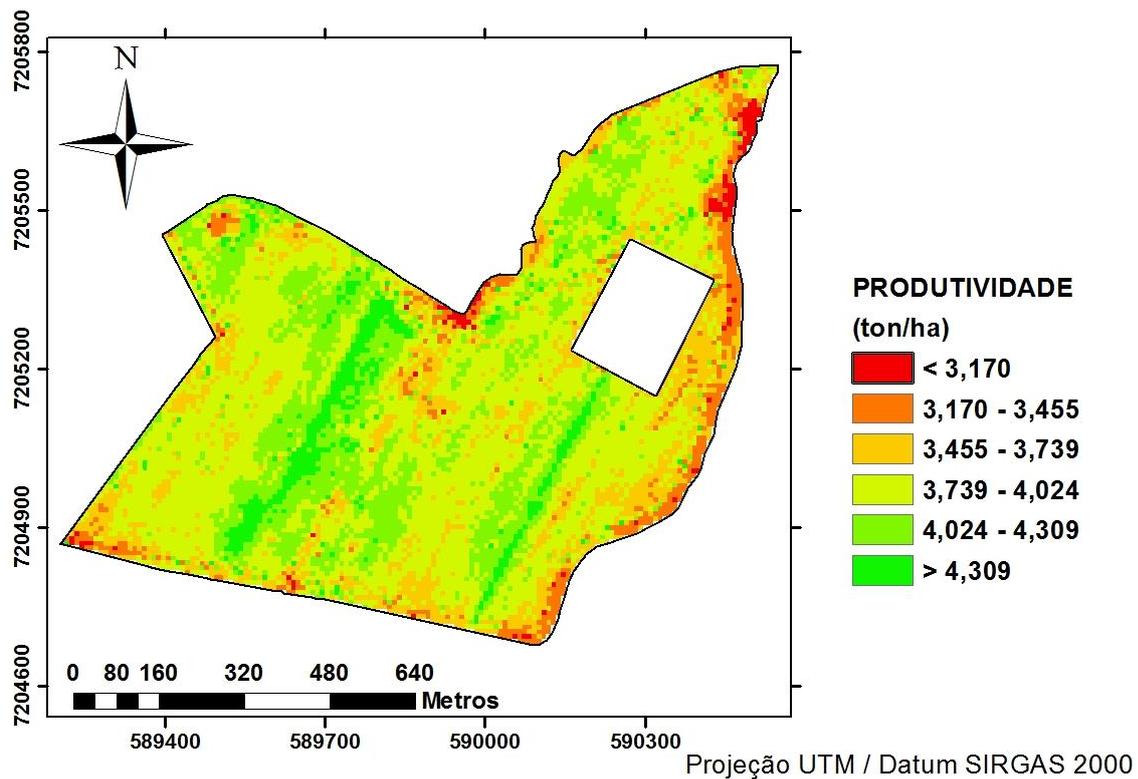


Figura 12 – Mapa representando a produtividade média da soja considerando as safras dos anos estudados.



Comparando os mapas de produtividade das diferentes safras com o mapa representando a média da produtividade ao longo dos anos, é possível observar que, mesmo que o mapa da média apresenta regiões que podem ser indicadas como de maior produtividade e de menor produtividade em relação à média, estas regiões não são constantes de um ano para o outro. Isso pode ser um indicativo de que os fatores que determinam ou limitam a produtividade não se mantêm constantes ao longo dos anos. Este fator dificulta a determinação de ZHM que podem ser utilizadas como referência ao longo de diversos anos.

As diferenças marcantes de produtividade de um ano para o outro indicam a influência de disponibilidade de água para a planta nas épocas críticas. Ao comparar as informações da Tabela 12 com os mapas de produtividade de cada ano, vemos que em anos em que a precipitação excede a média anual, a produtividade também excede a média anual. Isso evidencia a importância da disponibilidade de água na época de germinação como nas safras de 2011/2012 e 2014/15.

A importância da disponibilidade de água no período de germinação também fica evidente quando analisamos os mapas de produtividade das safras de 2010/2011 e 2015/2016, que, mesmo apresentando precipitação maior que a média anual no período do ciclo da cultura, apresentaram precipitação abaixo da média nos primeiros meses resultando em produtividades abaixo da média em uma grande porcentagem da área plantada.

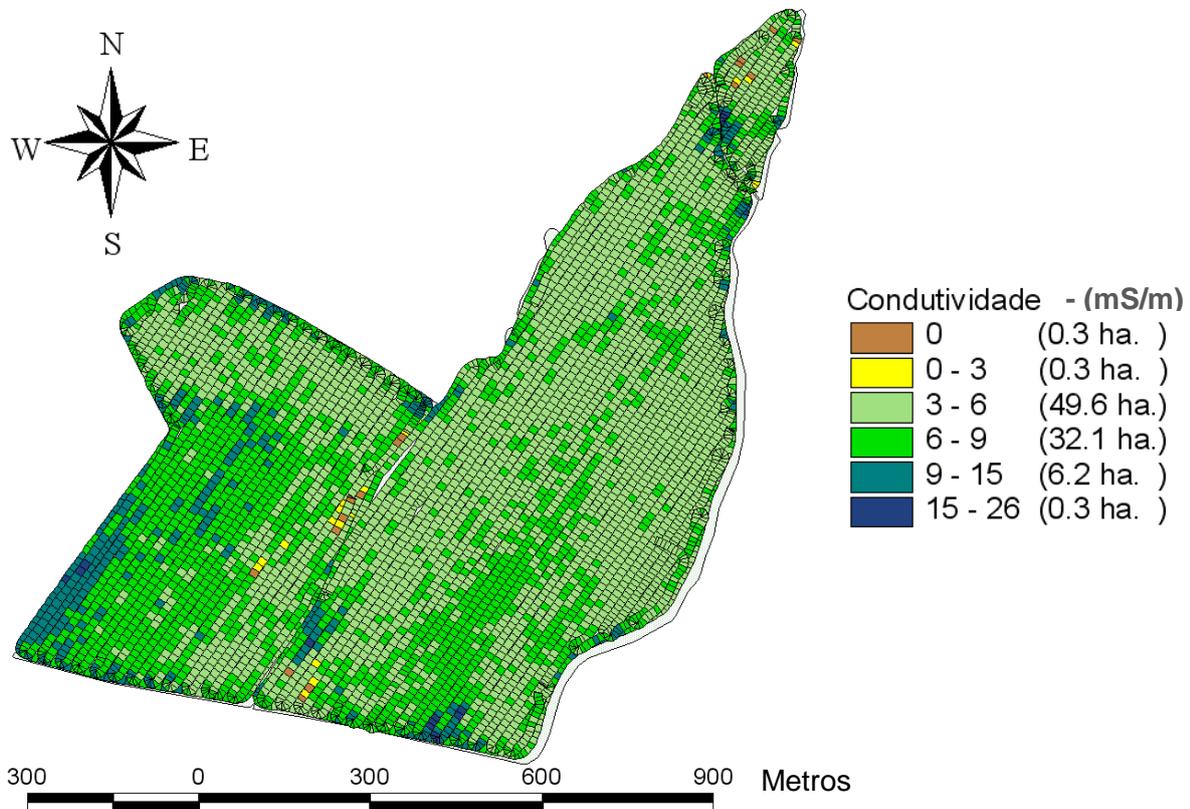
Sendo a disponibilidade de água um fator importante para o desenvolvimento da cultura, mesmo que a precipitação seja responsável pela definição da produtividade média do talhão como um todo, a textura do solo é responsável pela variação espacial da produtividade.

A condutividade elétrica do solo reflete a textura do solo. Leituras de condutividade elétrica baixa, aponta regiões de baixo teor de argila e leituras muito altas apontam alto teor de argila. Como áreas de menor teor de argila tendem a apresentar menor capacidade de retenção de água e sendo a soja é uma cultura muito sensível à disponibilidade de água, principalmente na fase de germinação, observa-se uma relação entre o mapa de CE e o mapa de produtividade média do talhão.

Ao comparar o mapa de CE (Figura 13) com o mapa de produtividade média do talhão é possível identificar que as regiões que apresentam condutividade muito baixas ou muito altas são regiões de baixa produtividade. Esta semelhança indica que em locais com teor de argila adequado possuem um maior potencial produtivo. Mesmo

em anos em que a produtividade geral do talhão foi baixa, estas áreas ainda apresentam os pontos de maior produtividade relativa à safra daquele ano.

Figura 13 – Mapa da condutividade elétrica

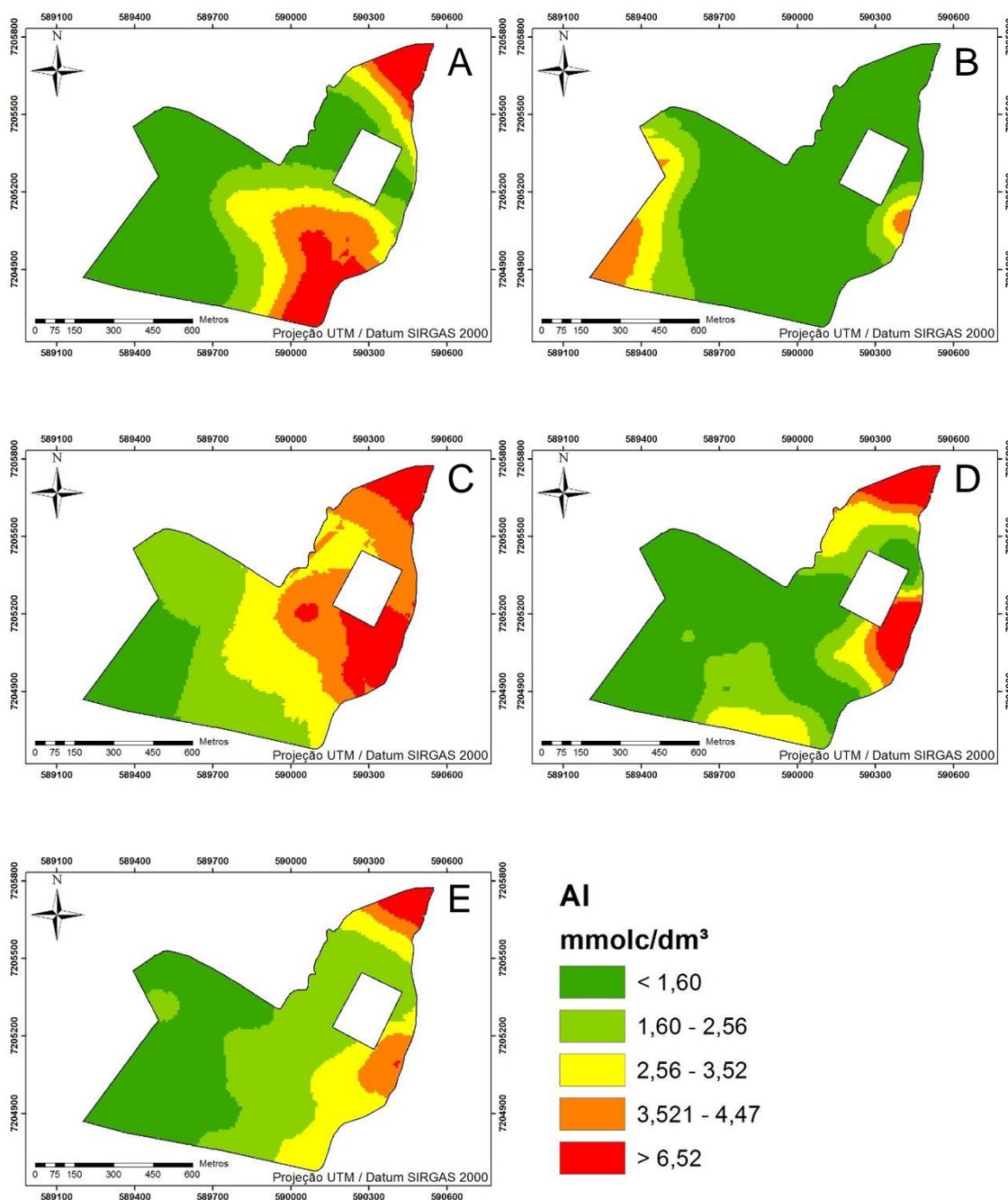


O mapa da CE, juntamente com o mapa da produtividade média, podem indicar as áreas de maior ou menor potencial produtivo da lavoura e poderiam ser utilizados para a determinação de ZHM.

Mas ainda existe a dificuldade da terminação destas ZHM devido à dificuldade em se determinar o manejo propriamente dito das zonas de maior ou menor potencial produtivo. Os dados relacionados com as características químicas do solo apresentaram acentuada variabilidade temporal ao longo dos anos estudados.

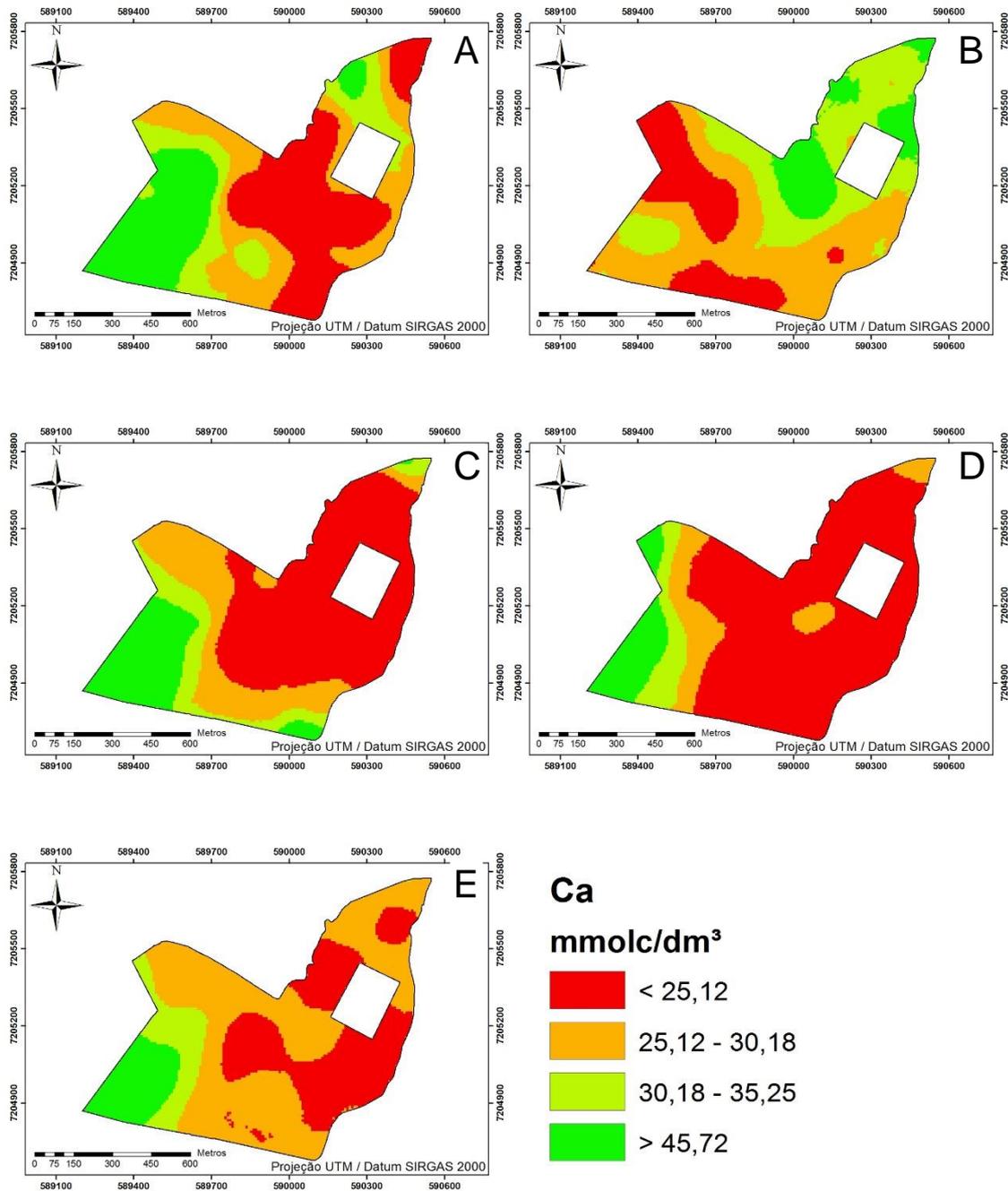
Uma região que aparenta ser homogênea em relação a uma característica em um determinado ano, pode não manter a homogeneidade nos anos seguintes. As Figuras 14 a 24 apresentam os mapas da variabilidade espacial das características químicas do solo em relação à média destas características no período estudado. Em cada uma das figuras é apresentado o mapa da média das características. Este mapa foi gerado utilizando a ferramenta de Álgebra de Mapas para cada célula.

Figura 14 – Mapas temáticos de teor de Al no solo nos anos de 2009, 2013, 2015, 2016 e mapa representando a média aritmética dos anos analisados.



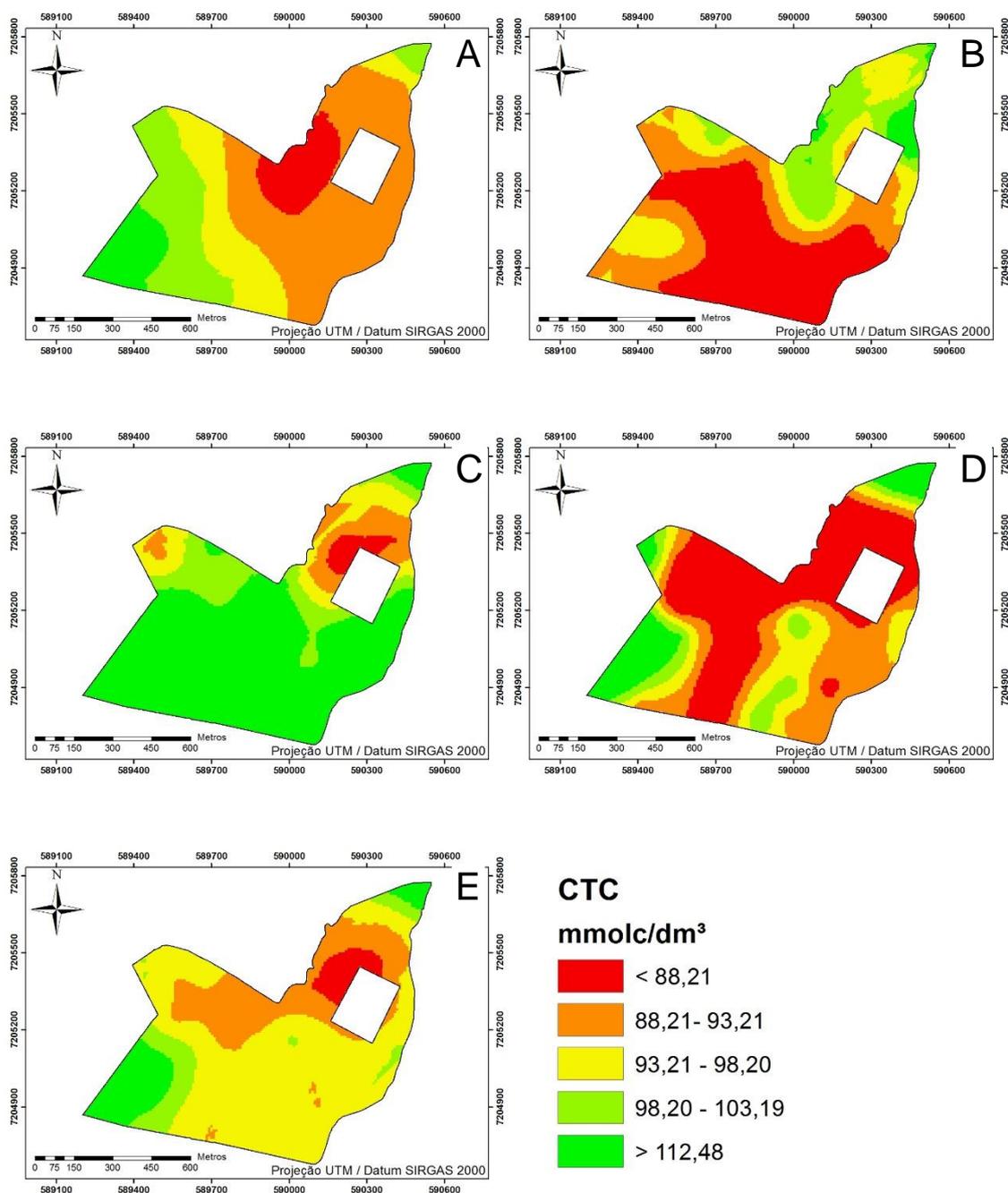
(A) Mapa de teor de Al em 2009, (B) Mapa de teor de Al em 2013, (C) Mapa de teor de Al em 2015, (D) Mapa de teor de Al em 2016 e (E) Mapa de teor médio de Al nos anos considerados.

Figura 15 – Mapas temáticos de teor de Ca no solo nos anos de 2009, 2013, 2015, 2016 e mapa representando a média aritmética dos anos analisados.



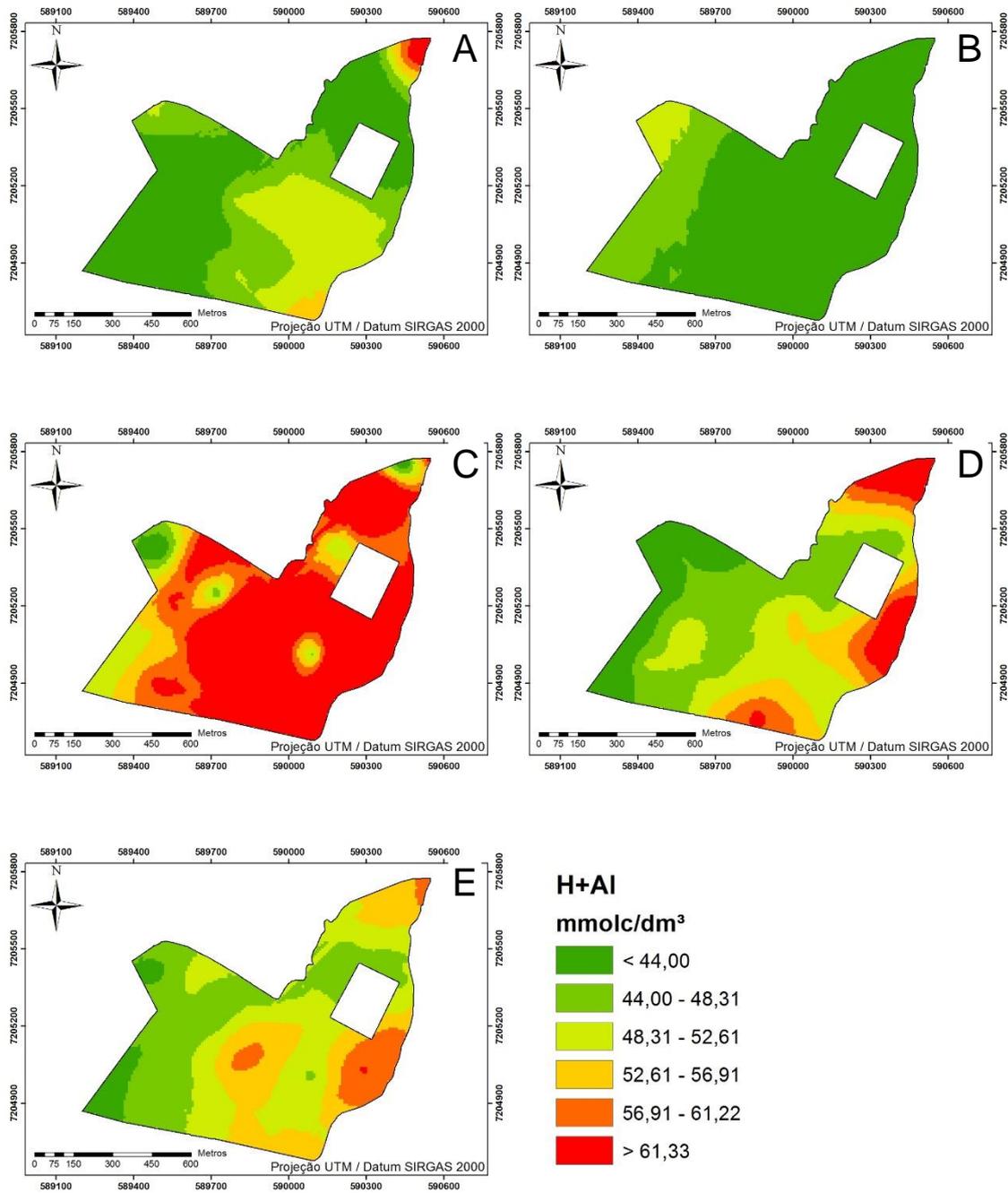
(A) Mapa de teor de Ca em 2009, (B) Mapa de teor de Ca em 2013, (C) Mapa de teor de Ca em 2015, (D) Mapa de teor de Ca em 2016 e (E) Mapa de teor médio de Ca nos anos considerados.

Figura 16 – Mapas temáticos de teor de CTC no solo nos anos de 2009, 2013, 2015, 2016 e mapa representando a média aritmética dos anos analisados.



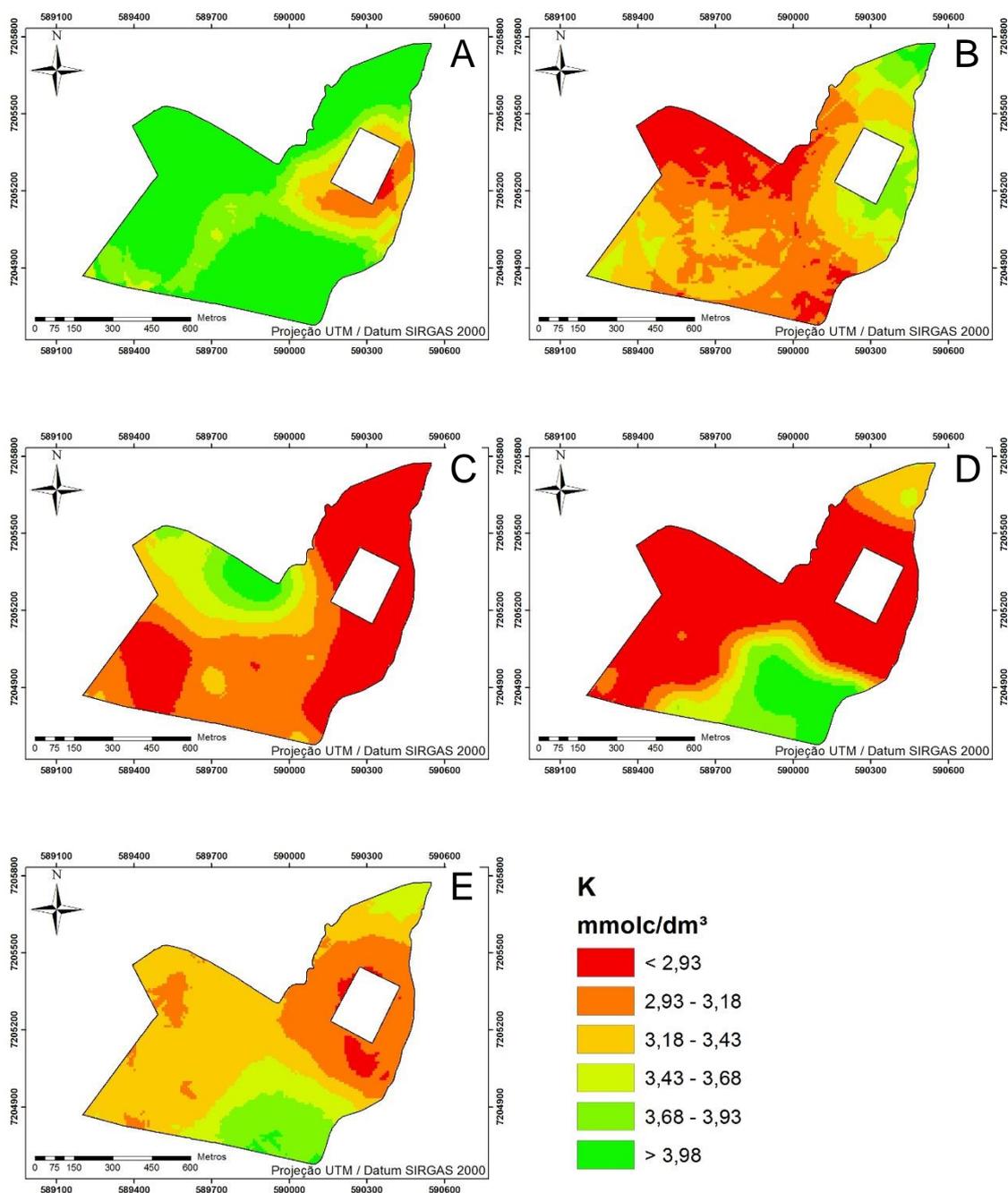
(A) Mapa de CTC em 2009, (B) Mapa de CTC em 2013, (C) Mapa de CTC em 2015, (D) Mapa de CTC em 2016 e (E) Mapa de valor médio de CTC nos anos considerados.

Figura 17 – Mapas temáticos de teor de H + Al no solo nos anos de 2009, 2013, 2015, 2016 e mapa representando a média aritmética dos anos analisados.



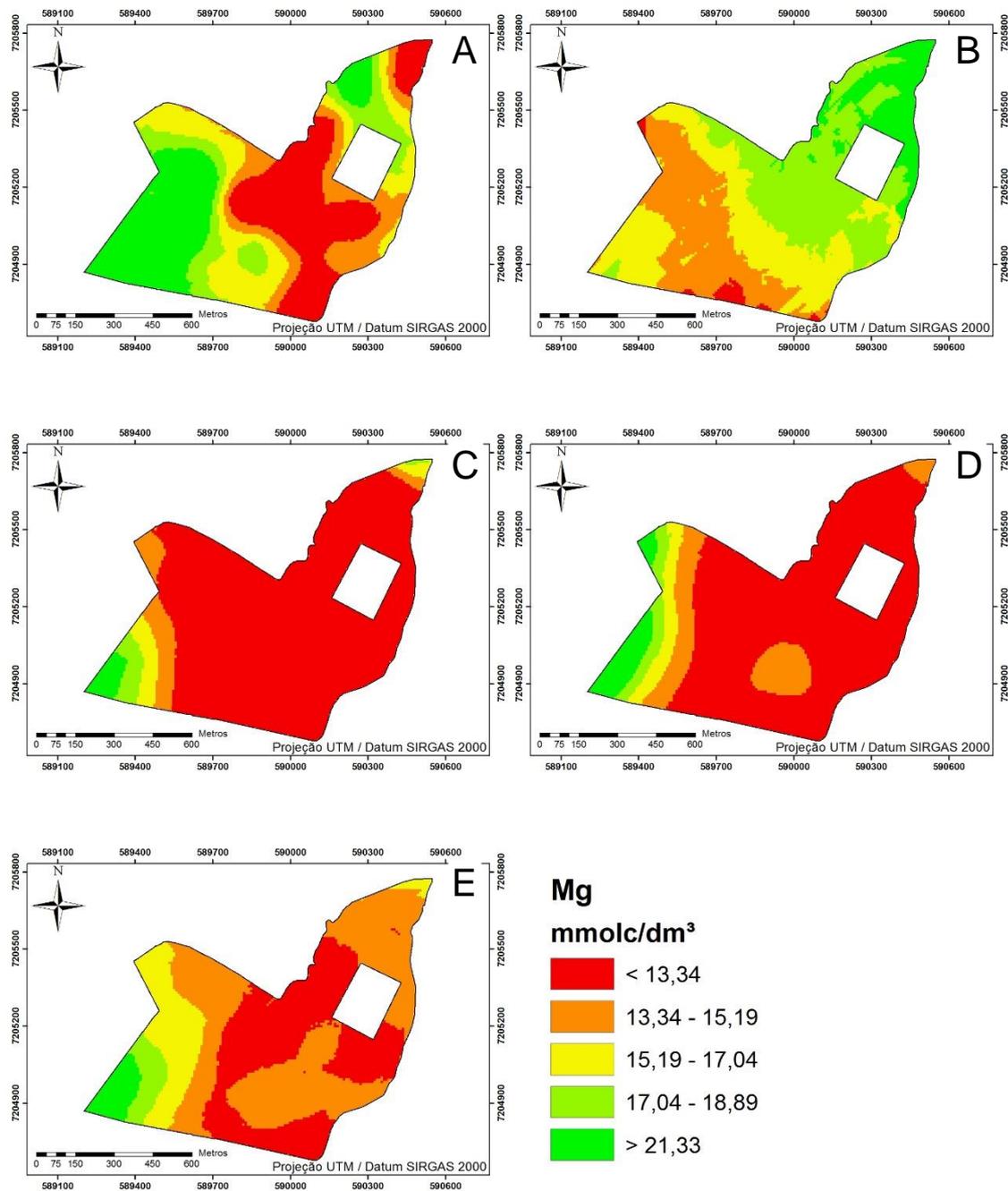
(A) Mapa de teor de H + Al em 2009, (B) Mapa de teor de H + Al em 2013, (C) Mapa de teor de H + Al em 2015, (D) Mapa de teor de H + Al em 2016 e (E) Mapa de teor médio de H + Al nos anos considerados.

Figura 18 – Mapas temáticos de teor de K no solo nos anos de 2009, 2013, 2015, 2016 e mapa representando a média aritmética dos anos analisados.



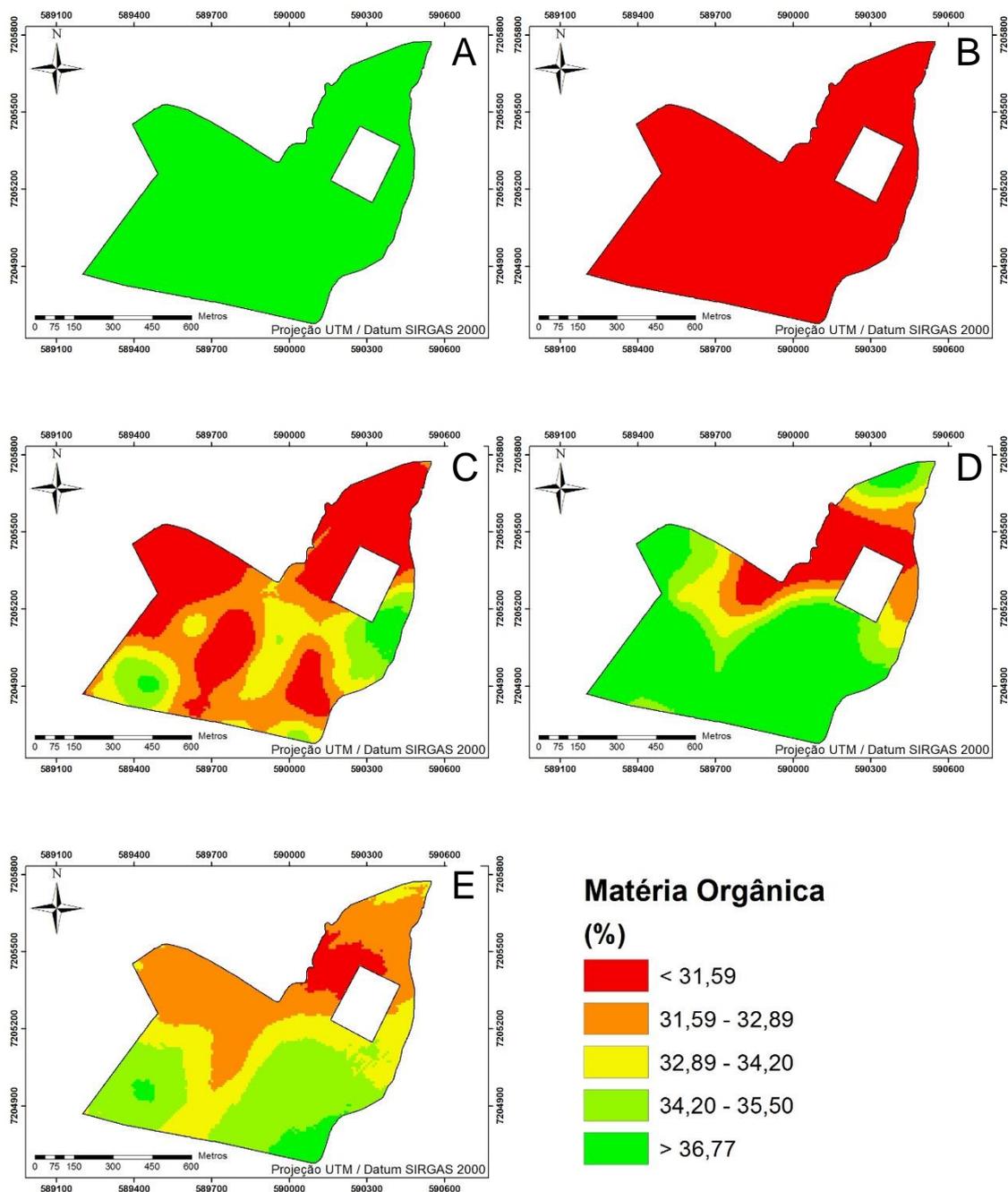
(A) Mapa de teor de K em 2009, (B) Mapa de teor de K em 2013, (C) Mapa de teor de K em 2015, (D) Mapa de teor de K em 2016 e (E) Mapa de teor médio de K nos anos considerados.

Figura 19 – Mapas temáticos de teor de Mg no solo nos anos de 2009, 2013, 2015, 2016 e mapa representando a média aritmética dos anos analisados.



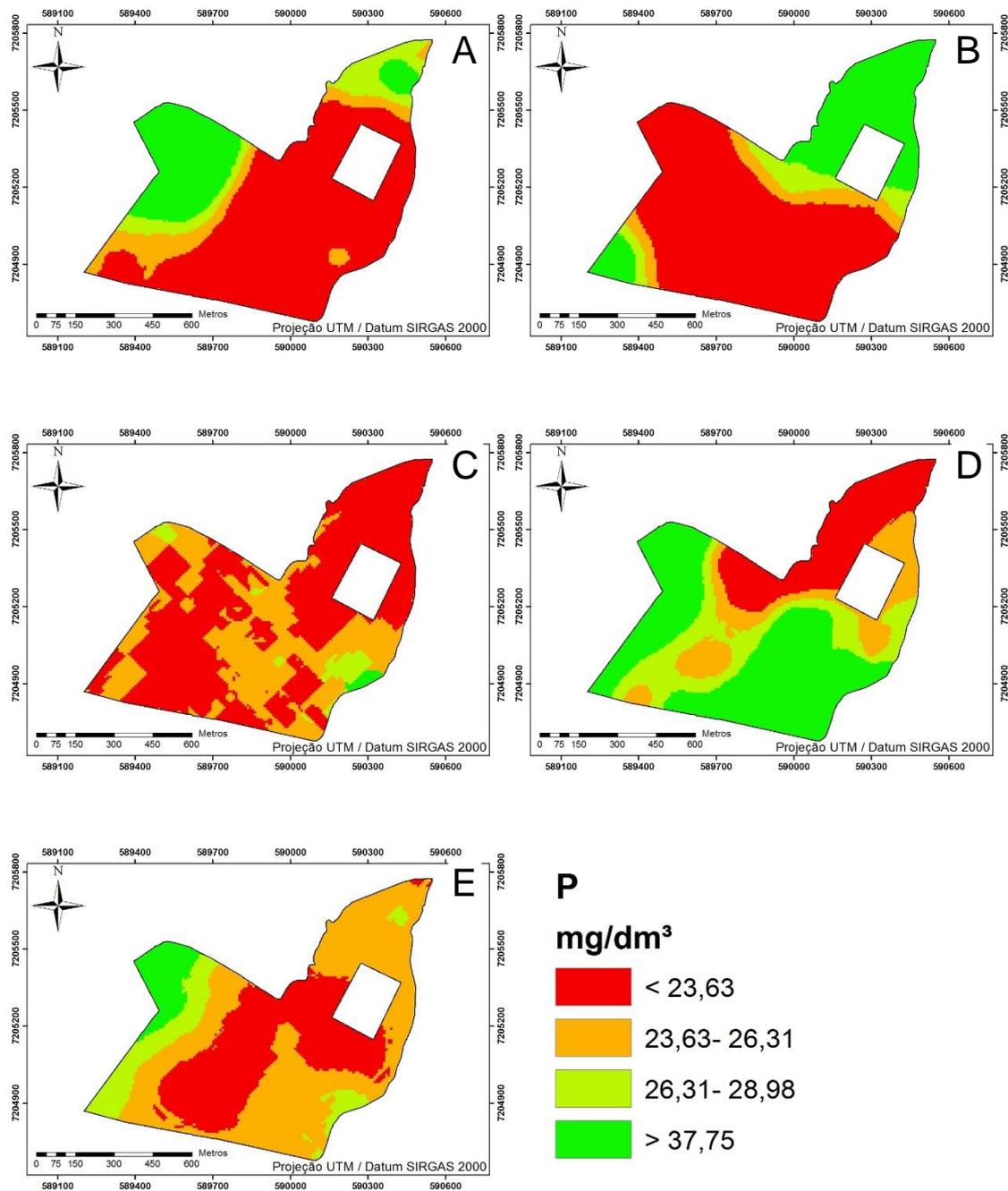
(A) Mapa de teor de Mg em 2009, (B) Mapa de teor de Mg em 2013, (C) Mapa de teor de Mg em 2015, (D) Mapa de teor de Mg em 2016 e (E) Mapa de teor médio de Mg nos anos considerados.

Figura 20 – Mapas temáticos de teor de MO no solo nos anos de 2009, 2013, 2015, 2016 e mapa representando a média aritmética dos anos analisados.



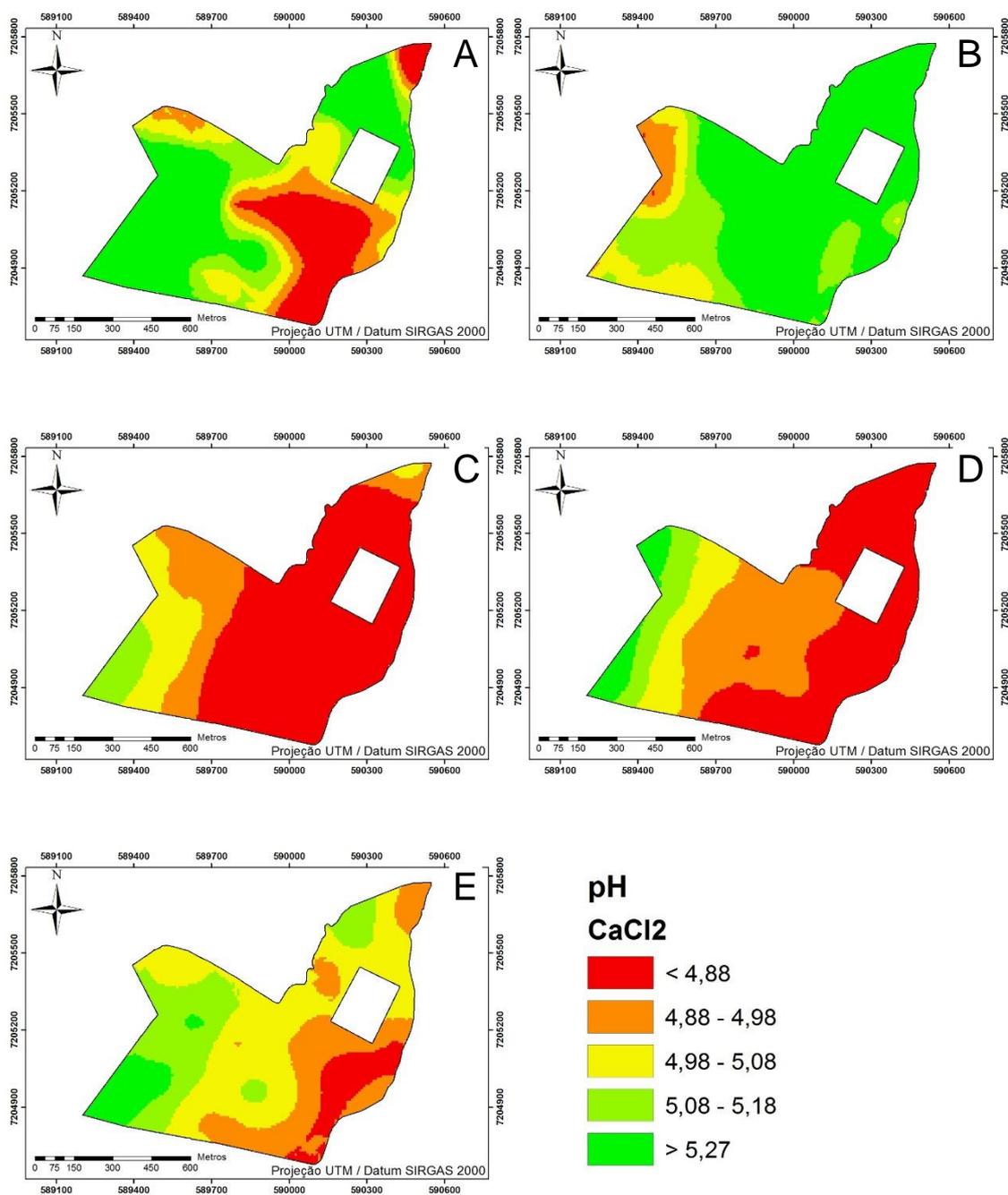
(A) Mapa de teor de MO em 2009, (B) Mapa de teor de MO em 2013, (C) Mapa de teor de MO em 2015, (D) Mapa de teor de MO em 2016 e (E) Mapa de teor médio de MO nos anos considerados.

Figura 21 – Mapas temáticos de teor de P no solo nos anos de 2009, 2013, 2015, 2016 e mapa representando a média aritmética dos anos analisados.



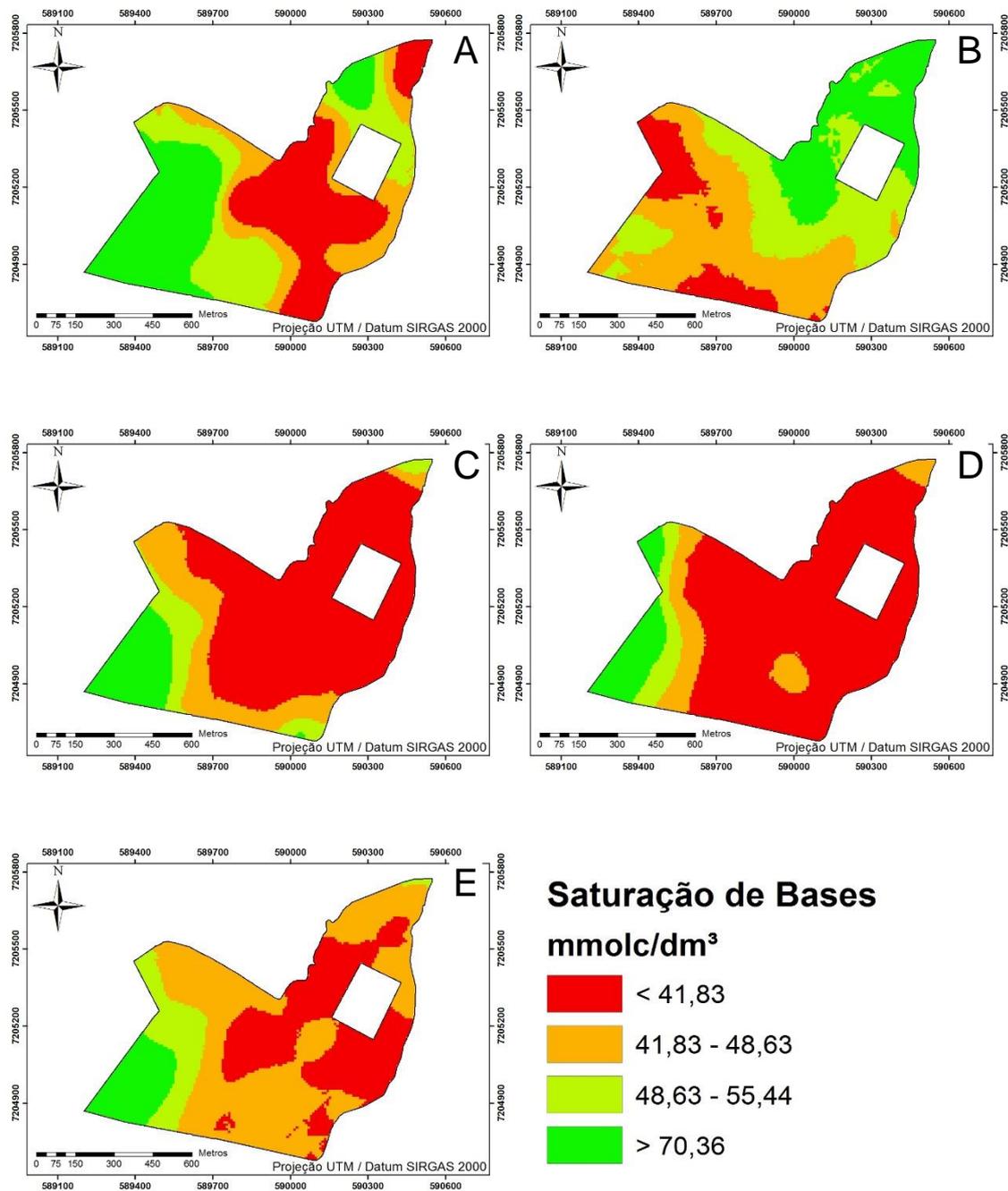
(A) Mapa de teor de P em 2009, (B) Mapa de teor de P em 2013, (C) Mapa de teor de P em 2015, (D) Mapa de teor de P em 2016 e (E) Mapa de teor médio de P nos anos considerados.

Figura 22 – Mapas temáticos do pH no solo nos anos de 2009, 2013, 2015, 2016 e mapa representando a média aritmética dos anos analisados.



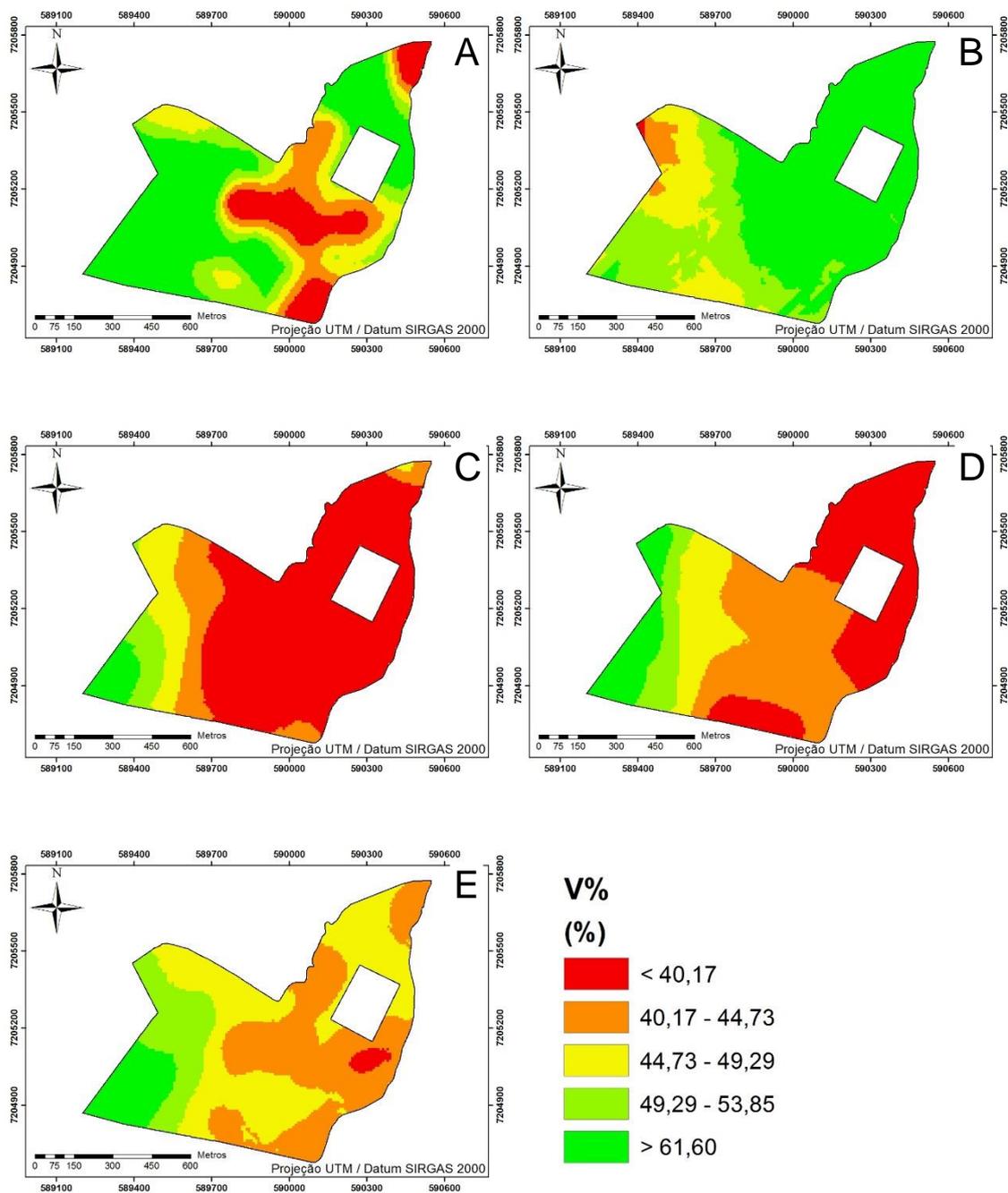
(A) Mapa de teor de pH em 2009, (B) Mapa de teor de pH em 2013, (C) Mapa de teor de pH em 2015, (D) Mapa de teor de pH em 2016 e (E) Mapa de teor médio de pH nos anos considerados.

Figura 23 – Mapas temáticos da Saturação de Bases no solo nos anos de 2009, 2013, 2015, 2016 e mapa representando a média aritmética dos anos analisados.



(A) Mapa de SB em 2009, (B) Mapa de SB em 2013, (C) Mapa de SB em 2015, (D) Mapa de SB em 2016 e (E) Mapa de valor médio de SB nos anos considerados.

Figura 24 – Mapas temáticos do V% no solo nos anos de 2009, 2013, 2015, 2016 e mapa representando a média aritmética dos anos analisados.



(A) Mapa de teor de V% em 2009, (B) Mapa de teor de V% em 2013, (C) Mapa de teor de V% em 2015, (D) Mapa de teor de V% em 2016 e (E) Mapa de teor médio de V% nos anos considerados.

4.3 Coeficiente de Correlação

Na Tabela 13 está apresentada a correlação entre a média de produtividade de cada ano com a média da variação da precipitação no período estudado e em relação à variação da precipitação em cada mês.

Tabela 13 – Coeficiente de correlação (CC) entre índices de produtividade e desvios da precipitação nos meses de safra.

Precipitação	Soma	Média Prod.	CC (%)
Setembro	0,500	0,443	0,405
Outubro	-0,497	-0,458	-0,413
Novembro	0,282	0,194	0,739
Dezembro	0,353	0,212	0,454
Janeiro	-0,164	0,072	0,209
Fevereiro	0,106	-0,154	-0,369
MÉDIA Prec.	0,287	0,137	0,528

Observou-se que a precipitação no mês de setembro foi importante para a definição da produtividade da cultura. Mesmo que haja baixo nível pluviométrico no mês de outubro, quando houve precipitação satisfatória no mês de setembro, a cultura ainda apresentou maior produtividade.

Na Tabela 14 está apresentado o coeficiente de correlação entre média da produtividade no período estudado e a média dos teores dos atributos do solo. Devido a acentuada variação do comportamento das características químicas do solo e que não é representada no mapa da média destas características, observou-se baixa correlação espacial entre a média da produtividade e a média de praticamente todas as características analisadas.

Tabela 14 – Coeficiente de correlação entre a média da produtividade dos anos estudados e da média das características do solo.

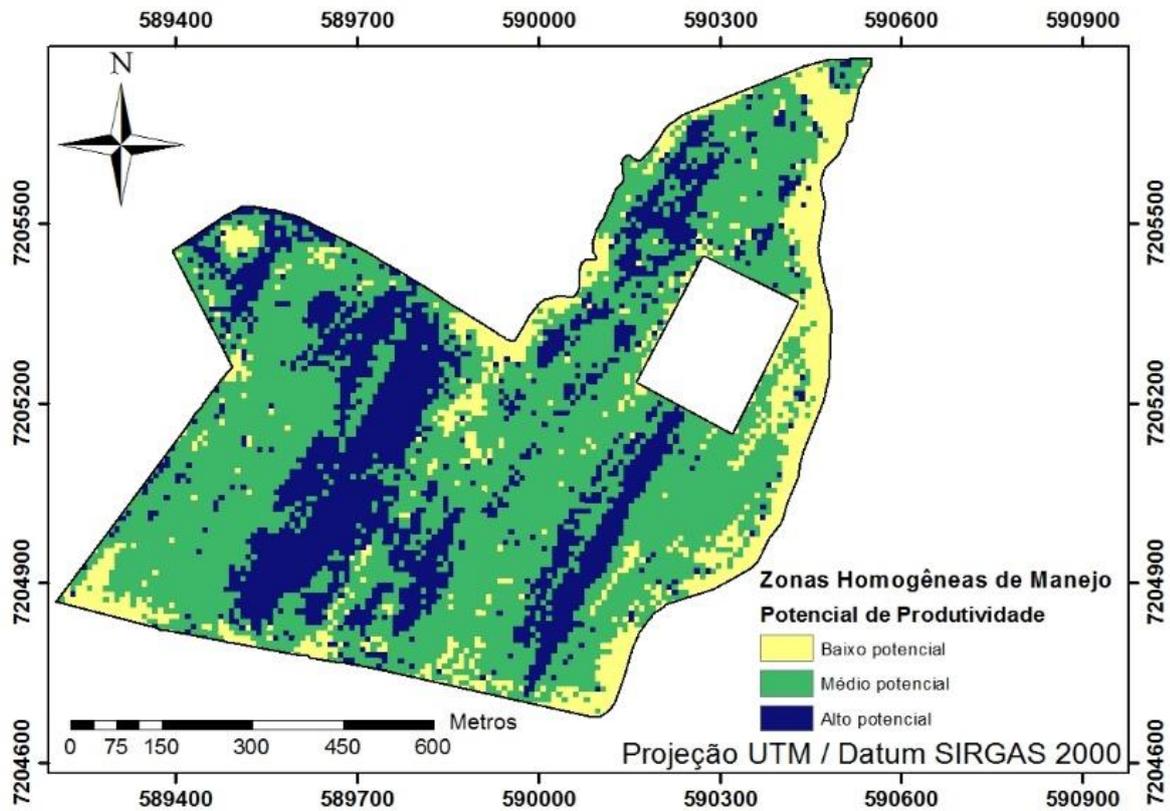
	PROD.	pH	MO	V%	CTC	P	H+Al	Al	Ca	Mg	K	SB
PROD.	1.00	0.14	-0.06	0.09	-0.14	-0.09	-0.17	-0.31	0.02	-0.04	0.03	0.00
pH		1.00	-0.15	0.91	0.37	0.27	-0.75	-0.65	0.81	0.77	0.57	0.80
MO			1.00	0.14	0.60	-0.06	0.22	0.05	0.29	0.24	-0.40	0.29
V%				1.00	0.58	0.38	-0.78	-0.60	0.95	0.93	0.47	0.95
CTC					1.00	0.19	-0.12	0.04	0.76	0.77	0.05	0.78
P						1.00	-0.41	-0.10	0.31	0.45	0.32	0.37
H+Al							1.00	0.71	-0.69	-0.63	-0.54	-0.67
Al								1.00	-0.47	-0.34	-0.41	-0.43
Ca									1.00	0.95	0.39	0.99
Mg										1.00	0.40	0.98
K											1.00	0.40
SB												1.00

4.4 Determinação de ZHM

Utilizando o mapa da produtividade média do talhão no período estudado, é possível identificar zonas em que a produtividade tende a ser mais elevada ou mais baixa, podendo então determinar estas zonas como sendo de maior ou menor potencial produtivo. Mas como não há uma correlação de forma contínua, ou seja, ao longo de vários anos, com distribuição espacial das características químicas do solo, não se torna viável a determinação de zonas para manejo químico da lavoura nas condições estudadas. Indicando que a exploração das zonas homogêneas de acordo com o potencial produtivo, devem ser manejadas utilizando outros critérios como as características físicas ou operacionais como aplicação de sementes em taxa variável.

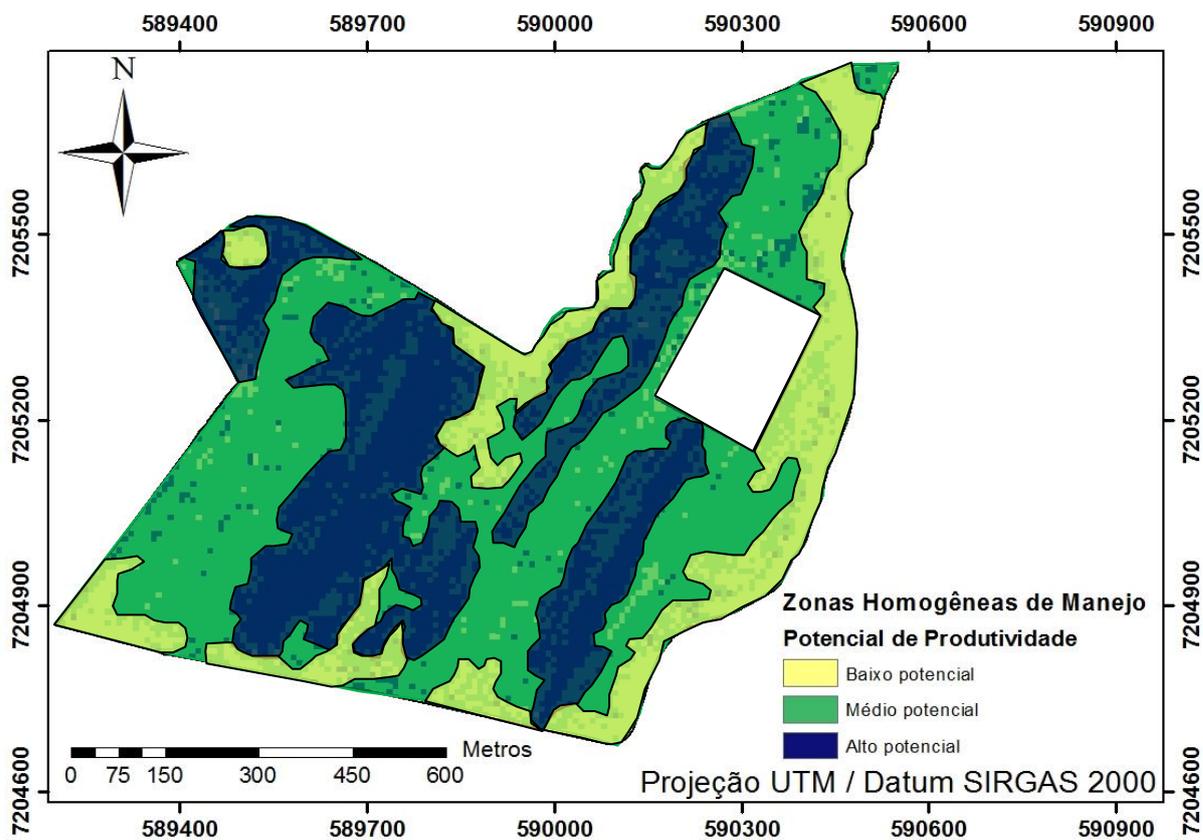
Mesmo assim é possível de se identificar no mapa média da produtividade zonas de maior ou menor potencial produtivo e que devem ser manejadas de forma que este potencial seja explorado de forma a maximizar o rendimento agrícola. De acordo com estas considerações e com o resultado obtido nas condições de estudo o talhão pode ser dividido em ZHM como apresentado na Figura 25.

Figura 25 – Divisão do talhão em ZHM de acordo com o potencial produtivo.



Por ser um talhão que apresenta grande variabilidade espacial em relação às características do solo, as ZHM da área em estudo apresentam regiões fragmentadas. Dependendo do manejo adotado para explorar o potencial produtivo de cada zona, será necessário um procedimento de suavização para viabilizar as operações. A Figura 26 ilustra a divisão das ZHM de forma suavizada.

Figura 26 – Determinação das ZHM de acordo com o potencial produtivo de forma suavizada.



5 CONCLUSÃO

Ao estudar-se os dados de produtividade da cultura da soja, das condições pluviométricas e das características do solo, concluiu-se que:

- a) Com os dados do mapa de produtividade média de anos anteriores, foi possível identificar zonas de maior ou menor potencial produtivo;
- b) Ao longo dos anos estudados, a localização das zonas de manejo se mantiveram relativamente constantes, independentemente da produtividade total do talhão nas diferentes safras.
- c) O fator que mais influenciou a produtividade total do talhão como um todo foi a precipitação, principalmente a do mês de implantação da cultura;
- d) A textura é o fator responsável pela definição do potencial produtivo das áreas dentro de um talhão pois determina a capacidade deste local em armazenar água durante os períodos críticos de desenvolvimento da cultura;
- e) As características químicas do solo foram secundárias na determinação do potencial produtivo de uma determinada área, passando a ser mais expressivas quando apresentam teores muito inferiores ao adequado e em anos de alta pluviosidade;
- f) Mesmo sendo possível identificar ZHM, ainda, torna-se necessário investigação mais profunda para se determinar qual o manejo adequado para se explorar, de forma mais eficiente, o potencial de cada área.

REFERÊNCIAS

- ACOMPANHAMENTO DA SAFRA BRASILEIRA GRÃOS. Brasília: CONAB, v. 3, n. 5, p. 1-182, fev. 2016. Safra 2015/2016. Quinto levantamento. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_02_04_11_21_34_boletim_graos_fevereiro_2016_ok.pdf>. Acesso em: 28 fev. 2016.
- ACOMPANHAMENTO DA SAFRA BRASILEIRA GRÃOS. Brasília: CONAB, v. 4, n. 7, p. 1-144, maio 2017. Safra 2016/2017. Oitavo levantamento. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_05_12_10_37_57_boletim_graos_maio_2017.pdf>. Acesso em: 20 maio 2017.
- ALVES, E. A.; QUEIROZ, D. M.; PINTO, F. A. C. Cafeicultura de precisão. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Boas práticas agrícolas na produção de café**. Viçosa, MG: UFV, 2006. p. 189-223.
- ANSELIN, L.; GETIS, A. Spatial statistical analysis and geographic information systems. In: FISHER, M. M.; NIHKAMP, P. (Ed.). **Geographic information systems: spatial modeling and policy evaluation**. Berlin: Springer, 1993. P. 35-49.
- ASSAD, E. D.; SANO, E. E., ed. **Sistemas de informações geográficas: aplicações na agricultura**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1993. 274p.
- BERLATO, M.A.; MATZENAUER, R.; BERGAMASCHI, H. Evapotranspiração máxima da soja e relações com a evapotranspiração calculada pela equação de Penman, evaporação do tanque “Classe A” e radiação solar. **Agronomia Sulriograndense**, Porto Alegre, v.22, n.2, p.243-259, 1986.
- BERNARDI, A. C. C.; INAMASU, R. Y. Adoção da agricultura de precisão no Brasil. In: **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: EMBRAPA, 2014. p. 559-577.
- BERRY, J. K. **Spatial reasoning for effective GIS**. Fort Collins: GIS World Books, 1997, 208 p.
- BOHLING, G. Kriging. Kansas, 2015. Disponível em: <<http://people.ku.edu/~gbohling/cpe940>>. Acesso em: 5 jun. 2017.
- BRAMLEY, R. G. V. Lessons from nearly 20 years of Precision Agriculture research, development, and adoption as a guide to its appropriate application. **Crop&Pasture Science**, Victoria, v. 60, p. 197-217, 2009.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Agenda estratégica 2014 - 2030: agricultura de precisão**. Brasília: Mapa/ACS, 2014. 21 p. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/tecnologia-agropecuaria/agricultura-de-precisao-1/arquivos-de-agricultura-de-precisao/agenda-estrategica-do-setor-de-agricultura-de-precisao.pdf>>. Acesso em: 6 de jun. 2017.
- CAMARGO, C. G. E. **Módulo de procedimentos geoestatísticos para o sistema de processamento de informações georeferenciadas (SPRING) baseado em**

técnicas de krigagem. 1997. 108 f. Tese (Mestrado) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

CARVALHO, J. R. P.; VIEIRA, S. R.; MORAN, R. C. de C. P. Análise de correspondência: uma ferramenta útil na interpretação de mapas de produtividade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 26, n. 2, p. 435-443, abr./jun. 2002.

CARVALHO, M. S.; PINA, M. F. **Conceitos básicos de sistemas de informação geográfica e cartografia aplicados à saúde.** Brasília: Organização Panamericana de Saúde, 2000.

CHERUBIN, M.R.et al. Caracterização e estratégias de manejo da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo utilizando a análise dos componentes principais. **Enciclopédia Biosfera.** p.196-210, 2011.v.7.

COELHO, E. C. et al. Influência da densidade amostral e do tipo de interpolador na elaboração de mapas temáticos. **ActaScientiarum Agronomy**, Maringá, PR, v. 31, n. 1, p. 165-174, 2009.

CORWIN, D. L.; LESCH, S. M. Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture. **Computers and Electronics in Agriculture**, Riverside, CA, v. 46, p. 11-43, mar. 2005. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169904001243>>. Acesso em: 20 maio 2017.

CRUVINEL P. E.; KARAM D.; BERARDO J. M. G. Agricultura, precisão e manejo de plantas invasoras na cultura do milho. In: **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar.** Brasília, DF: EMBRAPA, 2014. p. 135-156.

DALCHIAVON, F.C. et al. Produtividade da soja e resistência mecânica à penetração do solo sob sistema plantio direto no cerrado brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.41, n.1, p.8-19, 2011.

DOBERMANN, A. et al. (2003). Classification of crop yield variability in irrigated production fields. **Agronomy Journal**, Madison, WI, v. 95, p. 1105–1120, set./out. 2003.

EL NAHRY, A. H.; ALI, R. R.; EL BAROUDY, A. A. An approach for precision farming under pivot irrigation system using remote sensing and GIS techniques. **Agricultural Water Management**, [S.l.] v. 98, p. 517-531, 2011. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377410003185>>. Acesso em: 15 maio 2017.

EMBRAPA. **Tecnologia de produção de soja:** região central do Brasil 2008. Londrina, PR: Embrapa Soja,2008. (Sistemas de Produção, 12).

EMBRAPA. **Tecnologia de produção de soja:** região central do Brasil 2014. Londrina, PR: Embrapa Soja,2013. (Sistemas de Produção, 16).

FANCELLI A. L. et al. Case campeão nacional e regional sul safra 2016/2017. Desafio Nacional de Máxima Produtividade 2016/2017. Portal da Colina: CESB –

Comitê Estratégico Soja Brasil, 2017. Disponível em:

<<http://www.cesbrasil.org.br/case-campeonato-nacional-e-regional-sul-safra-20162017/>> Acesso em: 12 ago. 2017.

FARIAS, J. R. B.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A. L. Cultivos temporários: soja. In: MONTEIRO, J. E. B. A. (Org.). **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília, DF: INMET, 2009. p. 261-277.

FARIAS, J. R. B.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A. L. Ecofisiologia da Soja. **Circular Técnica 48**. Londrina, PR: Embrapa Soja, sep. 2007.

FLORES C. A.; ALBA, J. M. F. A Pedologia e a agricultura de precisão In: **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: EMBRAPA, 2014. p. 36-47.

GIANEZINI, M. et al. Geotecnologia aplicada ao agronegócio: conceitos, pesquisa e oferta. **Revista Economia & Tecnologia**, v. 8, n. 2, p. 167-174, abr./jun. 2012.

GOODCHILD, F. M. Geographic information systems and science: today and tomorrow. **Procedia Earth and Planetary Science**, Santa Barbara, CA, v. 1, n. 1, p. 1037–1043, set. 2009. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878522009001611>>. Acesso em: 15 maio 2017.

GRANEMANN D. C.; ELIAS A. R.; STORCK L. Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo e sua relação com a produtividade da cultura de soja. **Synergismusscyentifica UTFPR**, Pato Branco, v. 10, n. 2, p. 1–5, 2015. Disponível em: <<http://revistas.utfpr.edu.br/pb/index.php/SysScy/article/view/2055>> Acesso em: 10 ago. 2017.

IAPAR. Médias históricas em estações do IAPAR. Londrina: IAPAR, 2017.

Disponível em:

<<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=1070>>. Acesso em: 23 maio 2017.

IAPAR. Zoneamento agrícola. Londrina: IAPAR, 2017. Disponível em:

<<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=1576>>. Acesso em: 23 maio 2017.

INAMASU, R. Y.; BERNARDI, A. C. C. Agricultura de Precisão. In: **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: EMBRAPA, 2014. p. 21-33.

JORGE L. A. C.; INAMASU R. Y. Detecção de Greening dos citrus por imagens multiespectrais. In: **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: EMBRAPA, 2014. p. 180-190.

KITCHEN, N. R. Delineating productivity zones on claypan soil fields apparent soil electrical conductivity. **Computers and Electronics in Agriculture**, [S.l.], v. 46, n. 1-3 p. 285–308, mar. 2005. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878522009001611>>. Acesso em: 20 nov. 2016.

- LANDIM, P. M. B. **Introdução à análise estatística de dados geológicos multivariados**. Rio Claro: DGA, IGCE, UNESP, 2010. 229 p.(Texto Didático, 15).
- LOVERA L. H. et al. Variabilidade espacial da soja e de alguns atributos físicos de um Latossolo. In: SIMPÓSIO DE GEOESTATÍSTICA APLICADA EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS, 4, 2015, Botucatu.
- MACHADO, P.L.O. de A.; BERNARDI, A.C. de C.; SILVA, C.A. (Ed.). **Agricultura de precisão para o manejo da fertilidade do solo em sistema plantio direto**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. 209p.
- MANN P. S. **Introdução à Estatística**. Tradução: Eduardo Benedito Curtolo. 5. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2012.
- MILANI, L. et al. Unidades de manejo a partir de dados de produtividade. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringa, PR, v.28, n. 4, p.591-598, out./dez. 2006.
Disponível em:
<<http://eduem.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAgron/article/viewFile/937/465>>. Acesso em: 20 nov. 2016.
- MIRANDA, J. I. Interpolação. In: MIRANDA, J. I. **Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas**. 2. ed. rev. e atual. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2010. cap. 8, p. 265-304.
- MOLIN J. P. **Agricultura de Precisão**: o gerenciamento da variabilidade. Piracicaba: o autor, 2003. 83 p.
- MOLIN J. P. Definição de unidades de manejo a partir de mapas de produtividade. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 22, n. 1, p.83-92, 2002.
- MOLIN, J. P. Geração e interpretação de mapas de produtividade para agricultura de precisão. In: BOREM, A. et al. **Agricultura de Precisão**. Viçosa, PR: Universidade Federal de Viçosa, 2000. p. 237-258.
- MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R.; COLAÇO, A. F. **Agricultura de precisão**. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2015.
- MOLIN, J. P.; CASTRO, C. N. Establishing management zones using soil electrical conductivity and other soil properties by the fuzzy clustering technique. Piracicaba, SP. **Science Agriculture**, v. 65, n. 6, p.567-573, 2008.
- MORANDO, R. Déficit hídrico: efeito sobre a cultura da soja. In: **Journal of Agronomic Sciences**, Umuarama, PR, v. 3, n. especial, p.114-129, 2014.
- PANTAZI et al. Data Fusion of Proximal Soil Sensing and Remote Crop Sensing for the Delineation of Management Zones in Arable Crop Precision Farming. 7th International Conference on Information and Communication Technologies in Agriculture, Food and Environment (HAICTA 2015), 7, 2015, Kavala, Grécia, 17-20 sep. 2015. p. 765-776. Disponível em: <<http://ceur-ws.org/Vol-1498/>>. Acesso em: 22 ago. 2017.

PAULA, S. R.; FAVERET FILHO, P. Panorama do complexo de soja. **Biblioteca Digital do BNDS**, Rio de Janeiro, n. 8, p. 119-152, 1998. Disponível em: <<https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/2403>>. Acesso em: 25 nov.2016.

PING, J. L. et al. Delineating potential management zones for cotton based on yields and soil properties. **Soil Science**, v.170, n.5, 2005. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/232141180>>. Acesso em: 28 fev. 2016.

RAMOS F. T. et al. Defining management zones based on soil attributes and soybean productivity. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 30, n. 2, p. 427-436, abr.-jun., 2017. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1983-21252017000200427&script=sci_arttext>. Acesso em: 15 ago. 2017.

ROSA FILHO, G. et al. Variabilidade da produtividade da soja em função de atributos físicos de um Latossolo Vermelho Distroférrico sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 2, p. 283-293, 2009.

SANTESTEBAN, L. G. et al. Are precision agriculture tools and methods relevant at the whole-vineyard scale? **Precision Agriculture**, v. 14, p.2-17, 2013. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11119-012-9268-3>>. Acesso em: 20 maio 2016.

SANTI A. L. et al. Análise de componentes principais de atributos químicos e físicos do solo limitantes à produtividade de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.47, n.9, p.1346-1357, set. 2012. Disponível em: <<https://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/11238>> Acesso em: 10 ago. 2017

SANTI A. L. et al. Definição de zonas de produtividade em áreas manejadas com agricultura de precisão. **Agrária - Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.8 n.3, p.510-515, 2013.

SANTOS, A. O. et al. Prospecção de zonas potenciais para manejo diferenciado em agricultura de precisão utilizando-se padrões de solo-planta-clima. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.7, n.3, p.463-468, 2003.

SILVA, S. D. A.; LIMA, J. S. D. S. Avaliação da variabilidade do estado nutricional e produtividade de café por meio da análise de componentes principais e geoestatística. **Revista Ceres**, v.59, p.271-277, 2012.

TAGARAKIS A. et al. Management zones delineation using fuzzy clustering techniques in grapevines. **Precision Agriculture**, v. 14, n. 1, p. 18-39, fev. 2013. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11119-012-9275-4>>. Acesso em 15 ago. 2017.

TEY, Y. S.; BRINDAL, M. Factors influencing the adoption of precision agricultural technologies: a review for policy implications. **Precision Agriculture**, v. 13, p. 713-730, 2012.

VALE N. K. A., **Trajetória da produtividade da soja em função da variabilidade das chuvas no estado de Goiás**. 2017. 63 f. Dissertação (Mestrado em Agronegócio) - Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017.

VALENT, J. Z. et al. Georreferenciamento no Agronegócio: impacto da geotecnologia na estrutura de governança de firmas do setor orizícola. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIAS PARA O MEIO AMBIENTE, 4., 2014, Bento Gonçalves, RS. **Anais...** Bento Gonçalves: FIEMA, 2014.

WORLD AGRICULTURE SUPPLY AND DEMAND ESTIMATES. Washington, DC: USDA, n. 550, 9 fev. 2016. Disponível em: <<http://usda.mannlib.cornell.edu/usda/waob/wasde//2010s/2016/wasde-02-09-2016.pdf>>. Acesso em 28 fev. 2016.

WORLD AGRICULTURE SUPPLY AND DEMAND ESTIMATES. Washington, DC: USDA, n. 565, 10 maio 2017. Disponível em: <<http://usda.mannlib.cornell.edu/usda/waob/wasde//2010s/2017/wasde-05-10-2017.pdf>>. Acesso em 26 jun. 2017.