

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
COLÉGIO POLITÉCNICO DA UFSM  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA DE  
PRECISÃO

Jonatas dos Santos Maciel

**ATRIBUTOS QUÍMICOS DE LATOSSOLO E SUA RELAÇÃO COM A  
PRODUTIVIDADE DO FEIJOEIRO (*Phaseolus vulgaris* (L.))**

Santa Maria, RS

2018

**Jonatas dos Santos Maciel**

**ATRIBUTOS QUÍMICOS DE LATOSSOLO E SUA RELAÇÃO COM A  
PRODUTIVIDADE DO FEIJOEIRO (*Phaseolus vulgaris* (L.))**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, Geotecnologias Aplicadas à Agricultura de Precisão, Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Agricultura de Precisão**.

Orientador: Prof. Claire Delfini Viana Cardoso, Dr<sup>a</sup>.

Santa Maria, RS

2018

Maciel, Jonatas dos Santos  
ATRIBUTOS QUÍMICOS DE LATOSSOLO E SUA RELAÇÃO COM A  
PRODUTIVIDADE DO FEIJOEIRO (*Phaseolus vulgaris* (L.)) /  
Jonatas dos Santos Maciel.- 2018.  
60 p.; 30 cm

Orientadora: Claire Delfini Viana Cardoso  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Colégio Politécnico, Programa de Pós-Graduação em  
Agricultura de Precisão, RS, 2018

1. Agricultura de Precisão 2. Mapas de Produtividade  
3. Imagens de Satélite 4. Zonas de Manejo I. Cardoso,  
Claire Delfini Viana II. Título.

**Jonatas dos Santos Maciel**

**ATRIBUTOS QUÍMICOS DE LATOSSOLO E SUA RELAÇÃO COM A  
PRODUTIVIDADE DO FEIJOEIRO (*Phaseolus vulgaris* (L.)).**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Agricultura de Precisão**.

**Aprovado em 25 de setembro de 2018.**



**Claire Delfini Viana Cardoso, Dr<sup>a</sup>. (UFSM)**  
(Presidente/Orientador)



**Alessandro Carvalho Miola, Dr. (UFSM)**  
(Universidade Federal de Santa Maria– UFSM)



**Mário Sergio Wolski, Dr. (UFFS)**  
(Universidade Federal da Fronteira Sul– UFFS)

Santa Maria, RS

2018

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus que em cada momento de minha vida me conduziu e me iluminou para que tudo se parecesse mais fácil e possível.

À Universidade Federal de Santa Maria, por viabilizar a minha trajetória profissional e proporcionar uma formação de qualidade e gratuita.

Ao Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria por me proporcionar os melhores Professores, as melhores instalações de estudos, os melhores colegas e os melhores momentos de minha carreira estudantil.

À minha querida Orientadora Claire Delfini Viana Cardoso, por me acolher em duas oportunidades como orientando e por depositar todos os seus esforços pela minha formação.

À minha Esposa Nathalia Pimentel a minha eterna namorada por ser o norte de minha vida. Por fazer do nosso relacionamento o meu porto seguro.

## RESUMO

### ATRIBUTOS QUÍMICOS DE LATOSSOLO E SUA RELAÇÃO COM A PRODUTIVIDADE DO FEIJOEIRO (*Phaseolus vulgaris*(L.))

AUTOR: Jonatas dos Santos Maciel  
ORIENTADOR: Claire Delfini Viana Cardoso

O presente trabalho objetivou caracterizar e correlacionar a variabilidade espacial dos atributos químicos do solo e a produtividade da cultura de feijão em uma lavoura comercial de 10 ha, manejada a mais de vinte anos sob o sistema de plantio direto, em um latossolo na cidade Cruz Alta, RS. O trabalho consistiu na aplicação da técnica de NDVI (índice de vegetação por diferença normalizada), com dados obtidos em duas safras distintas nos anos de 2016/17 e 2017/18 para a definição de zonas de manejos homogêneas. Coletas de solos foram realizadas para a quantificação química da fertilidade da área em estudo e após o acompanhamento do cultivo foi realizada a colheita de parcelas para a definição da produtividade real da área. Análises estatísticas e geoestatísticas foram realizadas a fim de avaliar a variabilidade espacial dos atributos químicos do solo e correlacionados com a produtividade. Assim foi possível observar a dependência espacial da produtividade para cada atributo químico analisado. A produtividade do feijoeiro apresentou significância e correlaciona-se fortemente com o potássio (K), sendo possível afirmar que com o aumento da adubação de potássio podemos elevar a produtividade de grãos do feijoeiro na área em estudo.

**Palavras-chave:** Agricultura de Precisão. Mapas de Produtividade. Imagens de Satélite. Zonas de Manejo.

## ABSTRACT

### CHEMICAL ATTRIBUTES OF LATOSOLO AND ITS RELATIONSHIP WITH BEAN PRODUCTIVITY (*Phaseolus vulgaris* (L.))

AUTHOR: Jonatas dos Santos Maciel

ADVISER: Claire Delfini Viana Cardoso

The present work aimed to characterize and correlate spatial variability of soil chemical attributes and bean crop productivity in a 10 ha commercial crop, managed for more than twenty years under no - tillage system, in an oxisol in the city of Cruz Alta , RS. The work has an NDVI map with data obtained in two distinct harvests in the years 2016/17 and 2017/18 for the definition of zones of homogenous management. Soil collections were carried out for the chemical quantification of the fertility of the study area and after the follow - up of the crop, plots were collected to define the real productivity of the area. Statistical and geostatistical analyzes were performed in order to evaluate the spatial variability of soil chemical attributes and correlated with productivity. Thus, it was possible to observe the spatial dependence of productivity for each chemical attribute analyzed. Bean productivity showed significant spatial variability and is strongly correlated with potassium (K), and it is possible to state that with the increase of potassium fertilization we can increase the grain yield of the bean in the study area.

**Keywords:** Precision Agriculture. Productivity Maps. Satellite Images. Management Areas.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação do conjunto de ferramentas que permitem a utilização da Agricultura de Precisão– 2016. ....	11
Figura 2 – O Estado do Rio Grande do Sul – RS e do Município de Cruz Alta. Coleta – 2018. Cruz Alta, RS.....	24
Figura 3 – Agropecuária Santa Mara e da área de estudo. Cruz Alta. Coleta – 2018. Cruz Alta, RS.....	25
Figura 4 - Contorno (A) e área destinada ao estudo (B) com o mapa NDVI (C) e grade amostral dos pontos (D) da realização das coletas de solo, do cultivo do feijoeiro da área experimental. Coleta – 2017/2018. Cruz Alta. RS.....	29
Figura 5 - Mapa NDVI com os pontos de baixa, média e alta produtividade analisando a safra 2017/2018 concedido pela empresa AP Max LATINA da área onde se realizou o estudo e a as coletas de solo, do cultivo do feijoeiro da área experimental. Coleta – 2018. Cruz Alta. RS.....	38
Figura 6 - Definição e representação das zonas de manejo pela média da produtividade de grãos de feijão da área experimental. Coleta – 2018. Cruz Alta, RS. ....	39
Figura 7 - Definição e representação das zonas manejo com dados gerados pelos resultados obtidos em análise de solo de cada ponto amostrado em relação ao potássio (K) da área experimental. Coleta – 2018. Cruz Alta, RS.....	40

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Medidas estatísticas descritivas correspondentes aos parâmetros geoestatísticos (valores de média, mediana, valor mínimo e máximo, variação (%), curtose e assimetria) referentes aos atributos químicos do solo da área experimental - coleta 2018. Cruz Alta, RS.....	32
Tabela 2 – Parâmetros para interpretação das correlações entre o <i>p valor</i> e sua interpretação referentes aos atributos avaliados na área.....	34
Tabela 3 – Matriz de <i>p valores</i> para a correlação simples de Pearson entre os atributos químicos do solo e produção de grão do feijoeiro, safra 2017/2018. Coleta – 2018. Cruz Alta, RS.....	35
Tabela 4 – Matriz de correlação simples de Pearson entre os atributos químicos do solo e produção de grão do feijoeiro, safra 2017/2018. Coleta – 2018. Cruz Alta, RS. ....	37

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
1.1 OBJETIVO GERAL .....	13
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>14</b>
2.1 O CULTIVO DO FEIJOEIRO .....	14
2.2 ATRIBUTOS QUÍMICOS DOS LATOSSOLOS.....	15
2.3 AGRICULTURA DE PRECISÃO.....	17
<b>2.3.1 Sensores Remotos.....</b>	<b>18</b>
<b>2.3.2 Zonas de Manejo .....</b>	<b>20</b>
<b>2.3.3 Mapas de Produtividade.....</b>	<b>21</b>
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>24</b>
3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL .....	24
<b>3.1.1 Estado do Rio Grande do sul e o Município de Cruz Alta .....</b>	<b>24</b>
<b>3.1.2 Agropecuária Santa Mara e a área de estudo.....</b>	<b>25</b>
<b>3.1.3 Plantio e manejo da cultura de feijão.....</b>	<b>26</b>
3.2 COLETA DE DADOS .....	27
<b>3.2.1 Dados da área experimental.....</b>	<b>27</b>
<b>3.2.2 Coleta de solos.....</b>	<b>29</b>
3.3 COLETA DE DADOS PRODUTIVOS .....	30
3.4 ESTRUTURAÇÃO E ELABORAÇÃO E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	30
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>32</b>
<b>5 CONCLUSÕES .....</b>	<b>41</b>
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>42</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>43</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o setor agrícola vem apresentando profundas transformações no processo produtivo desencadeadas principalmente pelas relações de produção e distribuição globalizadas, direcionando-se, cada vez mais, para atender à crescente demanda populacional e à produção de commodities para exportação (Elias, 2013). Essa demanda da população mundial por alimentos vem exigindo uma alta eficiência produtiva das áreas cultivadas a nível de Estado e País (EMBRAPA, 2011), a qual deve estar atrelada a sustentabilidade ambiental e um maior controle das informações de produção (ANTUNES, 2006).

Neste cenário atual, a agricultura de precisão (AP) abrange um conjunto de conceitos inovadores e desafiadores, os quais interagem fortemente com a otimização da produtividade e menor impacto ambiental possível (Petilio, 2007). Esta situação é constatada por autores que colocam a AP como a “terceira onda” na agricultura, sendo a mecanização com tração animal, a primeira, e a com equipamentos motorizados, a segunda (Balastreire, 1998). Diante deste cenário podemos citar a agricultura digital como uma ferramenta moderna que traz as inovações mais recentes em tecnologias da informação e comunicação (TIC) e promete alavancar a agricultura gerando novas aplicações para a agricultura de precisão, tais como: Sistemas de Informação Geográfica (SIG), sistemas baseados em conhecimento, sistemas de suporte à decisão e modelos que são incorporados em novas tecnologias empregadas no campo (MASSRUHÁ; LEITE. 2016).

Dentre as aplicações no campo é destacado por Massruhá et al. (2014, p.23).

Sistema de irrigação inteligente, agricultura de precisão envolvendo a aplicação de inteligência embarcada, automação e rede de sensores locais para mapeamento de solos, monitoramento de doenças e de variáveis meteorológicas. Além dessas aplicações tem-se atividades de sensoriamento remoto visando obter mais dados sobre a produção e aspectos ambientais e climáticos.

Neste mesmo sentido Nunes 2016, traz um modelo para agricultura de precisão de um conjunto de ferramentas dispostas em sete fatores que seriam cruciais para a adoção destes sistemas formando um círculo virtuoso do uso das novas tecnologias a partir de outras já existentes partindo da: análise de solos, aplicação a taxa variável de insumos, plantio a taxa variável, acompanhamento e monitoramento de pragas e insetos, aplicação localizada de defensivos agrícolas, colheita com máquinas com

sensores de produtividade e o resultado final seria a geração de mapas como resultado final (Figura 1). O mesmo autor ainda destaca que tão importantes quanto os dispositivos usados na agricultura de precisão, é perceber que a informação usada ou coletada é o ingrediente chave para o sucesso do sistema.

Figura 1 – Representação do conjunto de ferramentas que permitem a utilização da Agricultura de Precisão– 2016.



Fonte: Nunes, 2016.

Como podemos observar a “agricultura de precisão” não é um conceito novo e vem acompanhando de forma exponencial a evolução dos tempos (Massruhá; Leite. 2016). Muitos trabalhos científicos e bibliografias especializadas disponibilizam informações sobre este conjunto de técnicas que vem sendo, cada vez mais, utilizada a nível mundial. Inicialmente objetivava-se com a utilização de técnicas de AP equilibrar a fertilidade dos solos por meio da aplicação a taxa variada de adubos e corretivos

(Fiorin, 2016). Hoje sabemos que somente isso não basta e que a informação é um dos bens mais importantes para o desenvolvimento de soluções nas diversas áreas do conhecimento (Kirschner, 2012). A disseminação da informação por meio eletrônico, cujo volume cresce exponencialmente, deve-se à conjunção de três fatores principais: a convergência da base tecnológica, pela adoção da forma digital na geração e manipulação de conteúdo; a evolução na informática, que propicia processamento mais rápido a custos cada vez menores; e a evolução dos meios de comunicação, que tem permitido a expansão da Internet (TAKAHASHI, 2000).

Neste contexto com a evolução da AP, tornou possível a coleta e o acesso à grandes quantidades de dados que são processados por sistemas, gerando informações (Boemo, 2011), que permitem acompanhar e monitorar o andamento da cultura ao longo do ciclo. Cabe salientar que em relação à produtividade raramente se verifica alta correlação a um fator limitante de produção isolado, seja ele edáfico ou não (Resende, 2010). A produtividade da cultura é conhecidamente uma função de inúmeros fatores químicos, físicos, fisiológicos, tanto da planta como do solo e do microclima, onde a cultura se desenvolveu (Dainese, 2006). Assim, os fatores limitantes de produção precisam ser conhecidos e quantificados (SCHWALBERT, 2016).

Os estudos nesse sentido têm indicado a necessidade de minimizar os efeitos adversos e o primeiro passo seria a quantificação da variabilidade química do solo nas lavouras, partindo de coletas georreferenciadas (Coelho, 2003; Machado et al., 2004, Resende et al., 2006) e associadas a produtividade final de cada ponto amostrado, visando espacializar a variabilidade do solo como forma de refinar o seu manejo agrônomo (RESENDE et al., 2010).

Com o auxílio de imagens de satélite, pesquisadores estão encontrando resultados na detecção e no monitoramento da variabilidade espacial e temporal nas áreas de cultivo, permitindo a definição de zonas de manejo de maneira mais homogênea, detectando e espacializando diferenças de vigor vegetativo, estado nutricional, incidência de pragas e doenças, infestação por plantas daninhas e potencial produtivo dentro do talhão (VILELA et al., 2006a; BAESSO et al., 2007; MEDEIROS et al., 2008; SENA JUNIOR et al., 2008).

Após a coleta destes tipos de dados, estes resultados podem ser expressos em dados temáticos, os quais descrevem a distribuição espacial de uma grandeza geográfica, expressa de forma qualitativa, como os mapas de aptidão agrícola de uma

região ou uma área específica. A geração de mapas de produtividade produz informações detalhadas da produtividade do talhão e oferece parâmetros para diagnosticar e corrigir as causas de baixas produtividades em algumas áreas amostradas, através da localização dada pelo georreferenciamento do ponto em questão (MUNDOGEO, 2000).

A adoção de um sistema de Geoprocessamento é de suma importância para a obtenção dos mapas de produtividade, pois possibilitará ao produtor associar o mapa de sua lavoura à um banco de dados, sendo este implantado em função da atividade desenvolvida na propriedade. O mapa de produtividade permite um melhor planejamento para maximizar a produtividade da cultura, sem aumentar a degradação ambiental. O processamento de associação destas informações é possível por meio de Sistemas de Informações Geográficas – SIG de acordo com PAZ (2009).

## 1.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho teve por objetivo caracterizar e correlacionar a variabilidade espacial dos atributos químicos do solo e a produtividade da cultura do feijoeiro em um latossolo da região de Cruz Alta, Estado do Rio Grande do Sul.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar as zonas de manejo de alta, média e baixa produtividade de grãos do feijoeiro, utilizando ferramentas de agricultura de precisão;
- Analisar os elementos (nutrientes) considerados limitante na produtividade de grãos do feijoeiro.
- Avaliar a variabilidade espacial de atributos químicos do solo;
- Avaliar a variabilidade espacial da produtividade de plantas do feijoeiro em uma área irrigada por pivô central;
- Correlacionar atributos químicos do solo com parâmetros de planta do feijoeiro;

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 O CULTIVO DO FEIJOEIRO

O Estado do Rio Grande do Sul caracteriza-se por apresentar uma agricultura predominantemente de primavera-verão, representando mais de 90% da produção total de grãos (Antunes, 2006). Entre as espécies cultivadas destaca-se o cultivo do feijoeiro, um dos alimentos básicos da população brasileira por apresentar um elevado teor de proteínas e aminoácidos essenciais (Talamini et al., 2010), além de constituir fonte de carboidratos, vitaminas e minerais na dieta humana (CONAB, 2018).

O cultivo do feijão no Estado do Rio Grande do Sul abrange cerca de 59 mil hectares (EMBRAPA, 2018), gerando no ano agrícola 2017/18 uma produção estimada em 107 mil toneladas (CONAB, 2018) e correspondendo a aproximadamente U\$ 19,752 milhões de dólares (AGROSTAT, 2018; EMBRAPA, 2018) do Produto Interno Bruto (PIB) do Rio Grande do Sul (RS), o que nos mostra a importância desta cultura na economia deste Estado.

No Rio Grande do Sul são cultivadas dois gêneros de feijão, pertencentes aos gêneros *Phaseolus* e *Vigna* (Filho et al. 2007), sendo um dos poucos Estados, juntamente com uma pequena parte do Rio de Janeiro, o sul de Santa Catarina e parte de Minas Gerais, em que o cultivo é predominantemente de cultivares com tegumento na coloração escura de cor preta, destacando a espécie *Phaseolus vulgaris* L, devido às restrições de mercado consumidor nestas regiões (CONAB, 2018).

Inicialmente, o “feijão preto” ou “feijão comum” era conhecido e cultivado de forma rudimentar, como cultura de subsistência em nível de pequena propriedade até meados da década de 1990 (Durigon et al., 2015), porém com uma problemática em relação à baixa produtividade das áreas, diminuição da área cultivada e a mão de obra cada vez mais escassa no campo (Maia; Buainain, 2015), surgiu a necessidade da adoção de novas tecnologias fazendo-se necessário o manejo adequado da fertilidade do solo (Pessoa et al., 1996), visando a maximização da produção.

Os avanços tecnológicos permitiram um aumento em relação à produtividade saindo do ano de 2000 de aproximadamente 800 quilos por hectare ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) para mais de 1.400  $\text{kg ha}^{-1}$  para o ano agrícola de 2016/17 (EMATER, 2017). Esse crescimento, em um período de tempo considerado por especialistas bastante curto, é um dos mais significativos do mundo e está associado ao fato de o feijoeiro ser uma

planta de ciclo curto e altamente adaptável no sistema de rotação de culturas podendo ser cultivada em várias épocas do ano.

Mas esta evolução somente foi possível devido a oferta do mercado ao produtor rural de técnicas compatíveis aos vários sistemas de produção (Ramos, 2005), destacando-se a obtenção de novas cultivares com elevado potencial produtivo (Zimmermann et al., 1996; Yokoyama et al., 2000; Carbonell et al., 2003) e adaptados aos mais distintos locais de cultivo (RAMALHO et al., 1998; DUARTE; ZIMMERMANN, 1994; PIANA et al., 1999; CARBONELL; POMPEU, 2000; CARBONELL et al., 2001).

Diante deste cenário destacamos que o rendimento da cultura de feijão no Brasil e, em particular, no Rio Grande do Sul pode ser aumentado (Maluf et al., 2001). Fazendo-se necessário o entendimento das variáveis de ambiente que limitam o potencial de rendimento, o zoneamento de riscos climáticos e a adoção de práticas culturais que possibilitem melhor aproveitamento das condições disponíveis (Maluf et al., 2001). Juntando-se ao interesse de produtores com recursos financeiros e um maior nível tecnológico que permitam maximizar o aporte nutricional no processo produtivo, e com isso venham a alcançar produtividades superiores a 3.000 kg ha<sup>-1</sup> (AGEITEC, 2018).

## 2.2 ATRIBUTOS QUÍMICOS DOS LATOSSOLOS

O solo é um corpo tridimensional com sua origem baseado em diferentes processos pedogenéticos ao longo do tempo (Trevisan et al., 2008) e, naturalmente, formado em condições de heterogeneidade espacial (Albuquerque et al., 1996), apresentando grande variabilidade nas suas características físicas, químicas e biológicas (Caon, 2012). A variabilidade espacial dos atributos de um solo não é um questionamento recente e diversos autores se dedicam a pesquisar os efeitos e as origens destas variações (Carvalho et al., 2003; Silva et al., 2003; Souza et al., 2007), já que esta pode afetar a sua constituição e passar a ser limitante de produtividade de uma área de cultivo.

O modelo tecnológico agrícola mundial tem suas bases consolidadas na exploração dos recursos naturais (Martinez, 1991), fazendo-se necessário um maior conhecimento de suas características aliado ao uso racional para a sua conservação. Ao se buscar a racionalização do solo e do manejo cultural, é preciso levar em conta as interações entre a produtividade obtida e relacioná-las aos atributos do solo e do

relevo, avaliando as principais limitações à produção (Frasson; Molin, 2006). Sendo que a variabilidade espacial de atributos do solo pode afetar intensamente o seu resultado ou resposta ao seu uso.

Silva e Chaves (2001) comentam que a química do solo apresenta variações ou heterogeneidades altamente significativas em uma área de cultivo, de maneira que se faz necessário o conhecimento detalhado da variabilidade de um ou mais elementos (nutrientes), tanto demacronutrientes (N,P,K, Mg, Ca e S) quanto micronutrientes (Mn, Zn, Fe, Cu, B e Mo), no intuito de aperfeiçoar o controle do sistema de produção e, ainda, reduzir possíveis impactos que a utilização de corretivos e fertilizantes podem causar ao meio ambiente (SOUZA et al., 2004).

Nesta linha de raciocínio os Latossolos em geral pertencentes a Unidade de Mapeamento Cruz Alta apresenta por característica solos com mais de 250 cm de espessura (profundos a muito profundos), bem drenados, muito porosos, friável e bem estruturados. E é em função destas propriedades físicas associada às condições de relevo suave a ondulado que estes solos possuem uma boa aptidão agrícola. Cabe salientar que as principais limitações nas características químicas dos latossolos referem-se à baixa fertilidade natural, forte acidez e alta saturação por alumínio. Devido à acidez e a baixa fertilidade natural, os latossolos exigem investimentos em corretivos, fertilizantes e sistemas de manejo para alcançar rendimentos satisfatórios, seja em campo nativo ou em lavoura (STRECK et al., 2008).

Diante disso, necessitamos conhecer a frequência que os nutrientes aparecem no solo, sendo assim possível quantificar a “fertilidade” deste, de maneira que a amostragem de solo é o primeiro passo para a avaliação da variabilidade de nutrientes (Acqua et al., 2013). As amostras de solo devem representar adequadamente a área sendo está a etapa mais importante de um programa de fertilidade (Oliveira et al., 2007), cabe salientar que a recomendação de fertilizantes e corretivos são definidas a partir da interpretação dos resultados de análises químicas realizadas na amostra (Cantarutti, 2007) e estes podem ser expressos em mapas de fertilidade.

Neste contexto a agricultura de precisão apresenta-se como uma excelente ferramenta para a mensuração da variabilidade espacial da fertilidade e vem auxiliar o produtor rural na definição das melhores técnicas e produtos a serem utilizados na correção da fertilidade (Dellamea et al., 2007). Para se ter uma acurácia significativa na geração dos mapas de fertilidade necessitamos realizar correlações entre os atributos do solo, sendo a geoestatística uma ferramenta que possibilita a

interpretação destes resultados, considerando a dependência espacial dos pontos amostrados (SILVA et al., 2003).

### 2.3 AGRICULTURA DE PRECISÃO

A agricultura de precisão (AP) não é um conceito novo, pois muitos trabalhos científicos e bibliografias especializadas disponibilizam informações sobre esta técnica que vem sendo, cada vez mais, utilizada no Brasil (MOLIN, 2001). Há alguns anos, os agricultores vêm dando tratamento localizado a suas lavouras, e conhecendo palmo a palmo cada pedaço da sua terra, estão praticando a agricultura de precisão, embora empírica e de baixa tecnologia (MOLIN, 2001).

Atualmente, a utilização da AP está em plena fase de crescimento nas empresas rurais brasileiras e seus conceitos diferem daqueles utilizados pela agricultura tradicional, sendo a principal diferença o uso de equipamentos tecnologicamente modernos, como do GNSS (MOLIN, 2004), permitindo relatar ao produtor os aspectos e as condições específicas da área avaliada (ARVUS, 2007).

Segundo Arvus (2007), a AP consiste de um ciclo de análise da produtividade do solo (através da colheita), análise das características químicas e físicas do solo (através de coleta de amostras ou imagens de satélite), controle preciso da aplicação de insumos, correção da terra e controle da plantação e da aplicação de agrotóxicos. Sendo uma moderna ferramenta para auxiliar o produtor na definição das melhores estratégias de manejo a serem adotadas, visando aumentar a eficiência da atividade agrícola. Especificamente, no manejo do solo, a AP tem como principal conceito aplicar no local correto (espaço), no momento adequado (tempo), as quantidades de insumos necessários (quantidade) à produção agrícola, permitindo ao produtor rural obter áreas cada vez mais homogêneas, tanto na tecnologia quanto nos custos envolvidos na produção (DOBERMANN; PING, 2004).

O adequado emprego dessa tecnologia deve-se basear em análises econômicas que mostram seus benefícios, como o aumento da produtividade e a redução dos custos de produção. Paralelamente, tais informações permitem a racionalização de utilização de insumos agrícolas, minimizando os impactos ambientais da atividade (Silva, 2012). Como consequência observamos a possibilidade de redução da poluição ambiental, já que menores quantidades de insumos são aplicadas localizadamente (Massruhá; Leite, 2016). A busca pela

otimização no uso dos recursos naturais e insumos fará com que a fazenda do futuro seja massivamente monitorada e automatizada. Sensores dispersos por toda a propriedade e interligados à Internet gerarão dados em grande volume, variedade e velocidade (Big Data) que necessitarão ser filtrados, armazenados (computação em nuvem) e analisados (Massruhá; Leite, 2016). Essa nova realidade onde tudo encontra-se interligado permitirá o fornecimento de uma abundância de serviços e aplicações, permitindo que usuários, máquinas, dados, aplicações e objetos do espaço físico interajam uns com os outros de forma autônoma e transparente, criando a chamada Internet das Coisas (Massruhá; Leite, 2016). Tem-se a agricultura conectada permitindo que de casa, ou da sede da fazenda, produtores possam acompanhar remotamente, pelo computador, tablet ou smartphone, o desempenho de suas máquinas nas lavouras por telemetria, a transmissão automática de dados via sinal de telefonia celular (CIGANA, 2016).

Os sistemas de mapeamento da colheita é uma ferramenta baseada nestes princípios é capaz de gerar as informações relativas à produtividade durante todo o processo da colheita, georreferenciando os dados e adicionando as características da safra colhida. Os mapas resultantes mostram explicitamente as áreas de variação de produtividade, pois este é o fator determinante nas decisões de gerenciamento, fazendo destes mapas ferramentas fundamentais para ratificar as decisões de gerenciamento e manejo do campo (OLSON, 1995).

### **2.3.1 Sensores Remotos**

A coleta de informações sobre a distribuição geográfica de recursos minerais, propriedades, animais e plantas sempre foi uma parte importante das atividades das sociedades organizadas. Até recentemente, no entanto, isto era feito apenas em documentos e mapas em papel, isso impedia uma análise que combinasse diversos mapas e dados. Com o desenvolvimento simultâneo, na segunda metade deste século, da tecnologia de informática, tornou-se possível armazenar e representar tais informações em ambiente computacional, abrindo espaço para o aparecimento do geoprocessamento (CAMARA, 2006).

A evolução da ciência trouxe inúmeros benefícios tecnológicos, contribuindo com o desenvolvimento das mais diferentes áreas de conhecimento, como por exemplo, o geoprocessamento, a cartografia e a análise espacial (Cavallari, 2009).

Nos países de grande dimensão e com carência de informações adequadas para tomada de decisões sobre problemas urbanos e ambientais, o geoprocessamento apresenta um enorme potencial, principalmente baseado em tecnologias de custo relativamente baixo, em que o conhecimento é adquirido localmente (CAMARÃ, 2006).

O geoprocessamento é caracterizado pela utilização de técnicas matemáticas e computacionais, direcionadas ao tratamento de informações coletadas sobre objetos ou fenômenos geográficos identificados (Moreira, 2001). Segundo Rodrigues (1990), geoprocessamento consiste no “conjunto” de tecnologias de coleta e tratamento de informações espaciais e de desenvolvimento e uso de sistemas que as utilizam. Podendo desta forma, seus atributos servirem a diversos fins, como projetos de vias (rodovias, ferrovias, entre outros) de irrigação, de loteamentos, drenagens, entre outros. É utilizado ainda para o planejamento urbano, regional, agrícola, operação de redes de esgoto, telefone, gás, água, entre outros.

As ferramentas computacionais do geoprocessamento chamados de SIG ou GIS (*Geographic Information System*) permitem a realização de análises complexas ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georreferenciados (Assad, 2003). O SIG pode ser definido como uma coleção organizada de equipamentos de computação (hardware), programas aplicativos (software) e dados referenciados espacialmente (ANDRADE et al., 2006).

A adoção do Sistemas de Informações Geográficas (SIG) pode contribuir para identificar espacialmente, através da confecção de mapas temáticos, a forma de ocupação das terras, observando os aspectos legais, uso atual, futuro e a exeqüibilidade, para proceder ao planejamento sustentável, considerando a atividade antrópica e os aspectos legais. Neste contexto a utilização do SIG é fundamental para uma rápida e precisa interpretação das informações físico-espaciais. Os SIGs permitem também a geração de bancos de dados temporais, que atuam como base para cruzamentos e ajustes de grande número de informações. A partir desta atualização do banco de dados é possível acompanhar o desenvolvimento da área em estudo, além da confecção de mapas com variados temas (PAZ, 2009).

Num país de dimensão continental como o Brasil, com uma grande carência de informações adequadas para a tomada de decisões sobre os problemas urbanos, rurais e ambientais, o geoprocessamento apresenta um enorme potencial, principalmente se baseado em tecnologias de custo relativamente baixo, em que o

conhecimento seja adquirido localmente (Camara, 2006). Para um agricultor, a adoção destes tipos de tecnologias é de suma importância, pois possibilitará associar ao seu mapa um banco de dados, sendo este implantado em função da atividade desenvolvida na propriedade, buscando um melhor planejamento para aumentar a produtividade sem aumentar a degradação ambiental. O processamento de associação destas informações é possível por meio de Sistemas de Informações Geográficas - SIG (PAZ, 2009).

### **2.3.2 Zonas de Manejo**

Atualmente, na agricultura brasileira grandes áreas de cultivo são consideradas e tratadas como homogêneas (Machado et al., 2007), mas em muitos trabalhos a pesquisa tem mostrado uma significativa persistência da variabilidade no desempenho das culturas (Schepers, et al., 2000). Neste sentido Schwalbert et al. (2016), relata que o desempenho vegetal homogêneo em uma área não é possível pela existência de regiões dentro da área produtiva apresentarem características diferentes e de difícil alteração como a química e a física do solo por exemplo.

Neste cenário, a agricultura de precisão entra como um conjunto de ferramentas que quando aplicadas à agricultura permite coletar, analisar e interpretar um elevado número de dados e através destes conhecer e quantificar a variabilidade espacial e temporal das culturas (Blackmore et al., 2003), norteando por exemplo a real necessidade de aplicação de insumos durante o processo produtivo (Machado et al., 2007). Ainda segundo Vieira (2008), a caracterização da variabilidade espacial dos atributos é necessária para que se possa interpretar as possíveis causas de variações nas produtividades das culturas, bem como sua distribuição (VIEIRA et al., 1983).

No entanto, para facilitar o uso de tanta informação e para que o resultado final seja aplicável é necessário a divisão da área amostral em sub áreas amostrais definidas em forma geométrica conhecidas como grides amostrais ou ainda agrupá-las em áreas homogêneas de forma irregular conhecidas como zonas de manejo (Schwalbert et al., 2016). Conceito este proposto na década de 1990 (Lark; Stafford, 1997), sugerindo que estas áreas geográficas após delimitadas podem ser tratadas como homogêneas (Velandia, 2009). A partir de então, a variabilidade estaria disposta entre as zonas distintas, mas dentro de si com características semelhantes e se referindo à uma área espacialmente contínua para qual um tratamento particular pode

ser aplicado (Pedroso et al., 2010). Assim, a variabilidade dentro da zona é menor do que entre as zonas distintas e as intervenções de manejo deveriam ser prescritas especificamente para cada zona de manejo considerando os fatores limitantes de produtividade existentes em cada uma delas (DOERGE, 1999).

Estudos mostram que o processo de delimitação de zonas de manejo pode ser baseado na fertilidade de solo (Corá et al., 2004; Montezano et al., 2006; Motomiyael al., 2006; Souza et al., 2006; Junior et al., 2011, Cherubin et al., 2016), no mapeamento da produtividade (Lark et al., 1999; Pierce; Nowak, 1999; Flowers et al., 2005; Montovani, 2006; Santi, 2007; Lawes; Robertson, 2011; Amado et al., 2016), nas observações do produtor (Horbe et al., 2012), em fotografias aéreas e imagens de satélite (Fleming et al., 1999; Johannsen et al., 2000; Bragachini et al., 2004; Schwalbert et al., 2016; Damian et al., 2016) e sobre a incidência de pragas e insetos (RIFFEL et al., 2012; SANTI et al., 2016).

Neste sentido, observa-se que existem diferentes ferramentas que geram dados e auxiliam na definição das zonas de manejo baseados na variabilidade regionalizada de cada item estudado (Khakural et al., 1998). Estes dados gerados são manipulados e transformados em informação tipo raster em programas SIG e após a utilização de algum interpolador pode ser utilizado para análise em uma base única e com células georeferenciadas (Molin, 2000) e, posteriormente, expresso em mapas (Antunes, 2006). Os mapas de produtividade permitem a orientação de diversas práticas de manejo (Molin, 1997; Milani et al., 2006), sendo uma das mais utilizadas para intervenções de sítios específicos (AMADO et al., 2007).

### **2.3.3 Mapas de Produtividade**

No contexto global, todas as formas de economia sofrem com a competitividade internacional e redução das margens de lucros, levando produtores de bens e serviços a buscar novas técnicas e meios alternativos a fim de minimizar tal impacto econômico (Russini, 2016). Na agricultura ocorre o mesmo fenômeno, fazendo com que surjam novas técnicas com o objetivo de se obter controles precisos, reduzindo o desperdício de insumos, otimização de alocação de recursos limitados em geral, mecanização dotada de tecnologia de ponta associado a sistemas computacionais que favoreçam a tomada de decisão e, conseqüentemente, promover um aumento de produtividade e lucratividade (PETILIO, 2007).

A geração de mapas de produtividade ou rendimento já é uma prática bastante comum em países mais desenvolvidos, onde o monitoramento da produtividade é considerado o primeiro passo na implantação da agricultura de precisão. No Brasil, em algumas áreas em que a tecnologia vem sendo estudada, já se tem mapas de produtividade há alguns anos (Gimenez, 2004). Foi nos anos 1990, quando o GPS (*Global Positioning Systems*) tornou-se disponível para usuários, possibilitando sua utilização em sistemas de mapeamento de produtividade que os primeiros mapas de produtividade foram gerados (Haneklaus et. al., 2000). O uso de GPS combinado com dados de produção agrícola permite elaborar mapas de produtividade. Estes mapas constituem uma ferramenta de diagnóstico muito importante para a agricultura de precisão, pois promovem o uso mais eficiente das informações, possibilitando desta maneira a administração da variabilidade no campo (EMMOTT et al., 1997).

Os sistemas de mapeamento da colheita são capazes de armazenar as informações relativas à produtividade durante todo o processo da colheita, georreferenciando os dados e adicionando as características da safra colhida.

Os mapas resultantes mostram explicitamente as áreas de variação de produtividade, pois esta é o fator determinante nas decisões de gerenciamento, fazendo destes mapas ferramentas fundamentais para ratificar as decisões de gerenciamento e manejo do campo (OLSON, 1995, p. 12).

Além disso, de acordo com Antuniassi (2010, p. 23),

Em termos econômicos, a utilização destas tecnologias possibilita a priorização de investimentos em áreas onde o potencial de produção seja mais efetivo, garantindo maior retorno econômico. Do ponto de vista ambiental, a racionalização e a redução do uso de insumos devem ser avaliadas como um dos principais benefícios da agricultura de precisão, sendo que historicamente, o rendimento das culturas tem sido um dos principais fatores estudados quanto à variabilidade espacial e temporal.

Em trabalhos com mapeamento da produtividade das culturas ao longo do tempo, percebe-se que, de maneira geral, estas apresentam locais com produtividades estáveis temporalmente, ou seja, existem subáreas bastante produtivas ou de baixa produtividade ao longo dos anos (Fraisse et al., 2001). Essa

instabilidade espaço temporal pode ser devida a vários fatores, sendo que as condições de solo e relevo preponderam (SCHEPERS et al., 2004).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

##### 3.1.1 Estado do Rio Grande do Sul e o Município de Cruz Alta

Figura 2 – O Estado do Rio Grande do Sul – RS e o Município de Cruz Alta. Coleta – 2018. Cruz Alta, RS.



Fonte: Google, 2018.

### 3.1.2 Agropecuária Santa Mara e a área de estudo

Figura 3 – Agropecuária Santa Mara e da área de estudo. Cruz Alta. Coleta – 2018. Cruz Alta, RS.



Fonte: Google Earth, 2018.

O trabalho foi realizado durante o ano agrícola de 2017/2018, na região central do Rio Grande do Sul, município de Cruz Alta, em uma área localizada na latitude 28°39'23,79" S, longitude 53°25'11,76" W e altitude média de 454 metros. A área apresenta relevo suavemente ondulado e o clima da região é do tipo "Cfa" segundo a Classificação de Koeppen (Moreno, 1961). O regime hídrico da região é considerado normal com um pluviosidade anual de 1736 mm/ano, a umidade relativa do ar é de 71,3% e a nebulosidade média de 0,6 décimos (BARATTO, 2016).

A temperatura média anual é em média de 18,9°C com a máxima média de 29,9°C registrado no mês de janeiro e a mínima média de 19,6°C para o mês de julho com uma variação média de 9,9°C/ano segundo dados históricos analisados (INMET, 2018). A precipitação é considerada normal, e apresenta-se bem distribuída sem longos períodos de deficiência hídrica durante o ano. O mês de outubro é considerado o mais chuvoso com uma precipitação média de 183 mm e novembro o mês

mais seco com uma precipitação média de 125 mm, diferindo em média 58 mm do mês mais chuvoso para o mais seco.

O solo do local de estudo é classificado como um Latossolo Vermelho Distrófico típico (Streck et al., 2008), pertencente a Unidade de Mapeamento Cruz Alta.

### 3.1.3 Plantio e manejo da cultura de feijão

A área destinada ao experimento está situada no Município de Cruz Alta – RS na localidade de Passo da Divisa e se intitula de Agropecuária Santa Mara, a qual utiliza agricultura extensiva há mais de 20 anos, sendo que na década de 1990 migrou para o sistema de plantio direto que se consolidou ao passar dos anos até os dias atuais.

O material vegetal utilizado neste estudo foi composto de sementes da cultivar de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) IPR UIRAPURU que apresenta hábito de crescimento indeterminado, porte ereto, guias curtas, com possibilidade de colheita mecânica. Essas sementes foram tratadas com uma associação de piraclostrobina + tiofanato metílico + fipronil (Standak Top<sup>®</sup>), anteriormente ao plantio. Posteriormente ao tratamento, no dia 05 de outubro de 2017, as sementes juntamente com adubo de formulação 09.25.15 NPK com 250 Kg/ha foram semeadas na área experimental. A semeadura do feijão foi realizada utilizando um conjunto de semeadura composta por um trator *John Deere 7230J* (230 CV de potência nominal) e uma semeadora *John Deere Série 2100* com 17 linhas de plantio e um espaçamento entre linhas de 0,45 metros equipada com o sistema dosador de sementes *vacumeter*<sup>®</sup> que elimina as sementes duplas e com o sistema *walkingsystem*<sup>®</sup> que uniformiza a profundidade de semeadura, neste caso de 0,004 metros.

Após o plantio foi realizado o controle do banco de sementes de plantas daninhas na área experimental com uma associação de 0,45 L ha<sup>-1</sup> cletodim (Poquer<sup>®</sup>) + 0,40 L ha<sup>-1</sup> imazetapir (Vezi<sup>®</sup>), os quais são herbicidas seletivos de ação sistêmica, do grupo oximaclohexanodiona e imidazolinona, respectivamente, sendo utilizado em pós-emergência.

Posteriormente, ao controle do banco de sementes foram realizados controles fitossanitários, de acordo com o Manual Feijão: recomendações técnicas para cultivo no Rio Grande do Sul da comissão estadual de pesquisa de feijão (CEPEF, 2000), de forma que o controle fitossanitário foi composto por três aplicações preventivas 1 L ha<sup>-1</sup> de fungicida sistêmico Carbendazim (Bendazol<sup>®</sup>) do grupo químico

Benzimidazol,concomitantes com três aplicações de inseticidas de 1 Kg ha<sup>-1</sup>de acefato (Rappel®) do grupo químico Organosfosforado.Semanalmente, durante todo o cultivo do experimento foi realizado o acompanhamento da evolução da cultura, visando sempre observar qualquer tipo de eventualidades que pudessem vir a ocorrer e procurando sempre trabalhar com ações preventivas, evitando o surgimento de pragas e moléstias.

Quando necessário foi realizado o acionamento do sistema de irrigação por pivô central com sistema de aspersão, sendo utilizado turno de rega de 12 horas, priorizando atender às necessidades da relação solo-planta, principalmente nas fases de emergência das plântulas, de florescimento pleno e de enchimento de grãos.

## 3.2 COLETA DE DADOS

### 3.2.1 Dados da área experimental

Primeiramente foi realizada a demarcação da área total do pivô que é de 98 hectares com o auxílio de um receptor GPS de mão do fabricante Garmin percorrendo o perímetro, e posteriormente realizada a aferição através do software CR Campeiro. Dentro desta área de 98 hectares foi delimitado um talhão de 10,2 hectares destinado à instalação do experimento (Figura 1A). A escolha da área foi obtida através do conhecimento do histórico de produtividade sobre mapas de rendimentos de soja das últimas três safras (2015/16, 2016/17 e 2017/18), com a determinação da variabilidade do local por imagem de satélite obtidas e processadas através de metodologia desenvolvida por análise de cluster de índice de vegetação mais difundida (NDVI). As imagens de satélite foram obtidas e processadas pela Empresa Ap Max LATINA (Rondonópolis – MT), através de metodologia própria e disponibilizadas ao estudo através de parceria firmada com a Cooperativa Triticola Taperense Ltda. – COTRISOJA, que autorizou a utilização dos mapas por ambiente da área experimental. O ponto de partida do processo de identificação e agrupamento das zonas similares de manejo resulta em uma hipótese de zonas de manejo homogêneas com base em uma ou mais características desejáveis.

A metodologia proposta por Wikiagro (2016), traz a refletância da vegetação por diferença normalizada index (NDVI) sendo considerada uma boa medida da atividade fisiológica das plantas. Sendo ela definida comop1 (Banda infra vermelho) e p2 (Banda

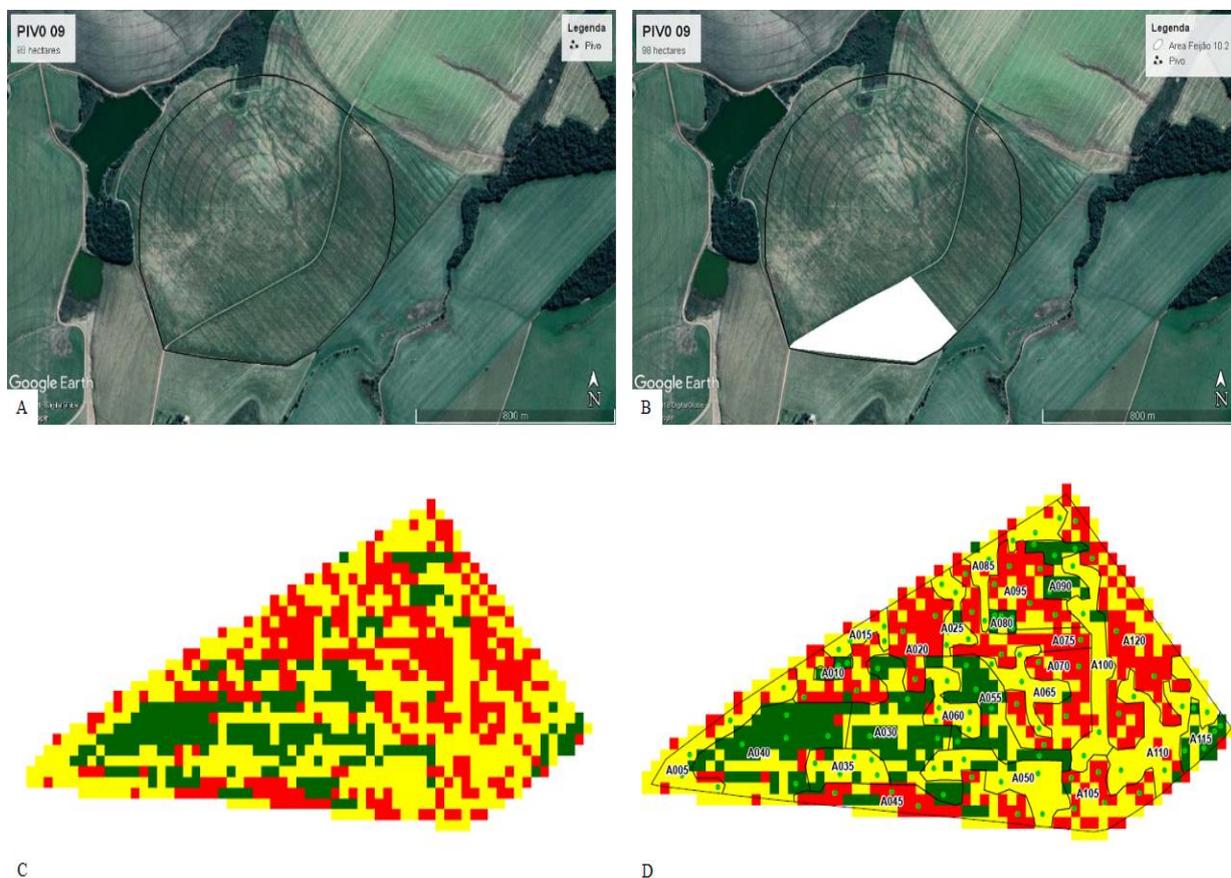
Vermelho) são as refletância obtidos a partir do canal de radiâncias medida próximo infravermelho e vermelho:

$$\text{NDVI} = \frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_1 + \rho_2}$$

Já para o agrupamento destas áreas por suas características similares se deu em 7 classes distintas para identificar as zonas de transição, ficando definido na seguinte forma sobre classes de produtividade da média do rendimento relativo (RL): > 115% muito alta, 115 – 110% muito alta a alta, 110 – 105% alta, 105 – 100% alta a média, 100 – 95% média, 95 – 90% baixa, 90 – 85% muito baixa (Figura 1B).

Após a definição das zonas de manejos foram criados 24 unidades de manejo com 5 sub amostras dentro de cada zona, variando a área amostrada para as coletas de solos e produtividade em 3 hectares a 5,2 hectares dentro da área experimental (10,2 hectares). Estas áreas de coleta de dados foram denominadas de: A005, A010, A015, A020, A025, A030, A035, A040, A045, A050, A055, A060, A065, A070, A075, A080, A085, A090, A095, A100, A105, A110, A115, A120 (Figura 1C).

Figura 4 - Contorno (A) e área destinada ao estudo (B) com o mapa NDVI (C) e grade amostral dos pontos (D) da realização das coletas de solo, do cultivo do feijoeiro da área experimental. Coleta – 2017/2018. Cruz Alta. RS.



Fonte: Google, 2017; ApMax Latina, 2018.

### 3.2.2 Coleta de solos

A área experimental foi constituída de 24 pontos de coleta de informações georreferenciadas, e contou com coleta manual na malha amostral irregular definida pelas unidades de manejo, com pá-de-corte em uma profundidade de 0 a 15 cm, totalizando 5 sub-amostras por unidade, sendo localizados os pontos de coleta com auxílio de um receptor GPS. As amostras foram coletadas, devidamente identificadas e enviadas sob a ordem de serviço nº 0476/2018 para a análise na Central Analítica da Universidade de Santa Cruz do Sul, RS. Os atributos analisados foram: Argila (%), pH H<sub>2</sub>O, índice SMP, P (mgL<sup>-1</sup>), K (mgL<sup>-1</sup>), M.O (%), AL (cmol<sub>c</sub>L<sup>-1</sup>), Ca (cmol<sub>c</sub>L<sup>-1</sup>), Mg (cmol<sub>c</sub>L<sup>-1</sup>), S (mgL<sup>-1</sup>), Zn (mgL<sup>-1</sup>), Cu (mgL<sup>-1</sup>), B (mgL<sup>-1</sup>) e Mn (mgL<sup>-1</sup>), expressos no Anexo 1. Todos os procedimentos laboratoriais são descritos e licenciado pela Rede

oficial de laboratórios de análises de solos e de tecido vegetal dos estados do RS e SC – ROLAS (2004) através do programa de análise de qualidade de laboratórios de fertilidade – PAQLF.

### 3.3 COLETA DE DADOS PRODUTIVOS

Para o trabalho foi definido que a cada um dos 24 pontos passaria a ser uma amostra produtiva e formaria uma parcela, ficando o ponto central georreferenciado no meio da parcela. Para um bom acompanhamento da área experimental, posteriormente a emergência total das plântulas aos 15 dias após a semeadura, foi realizada a contagem das plântulas emergidas em 2 m de linha de semeadura com distribuição uniforme da parcela, variável transformada em plântulas emergidas por m<sup>2</sup>. A produtividade de grãos foi avaliada e transformada em kg ha<sup>-1</sup> na área útil de cada parcela experimental, sendo obtida mediante a colheita de 6 linhas centrais na parcela com comprimento de 2 m, totalizando área útil de 5,4 m<sup>2</sup>. Após a colheita foi realizada a trilha, pesagem e retirada das impurezas e após verificado o grau de umidade de cada amostra, corrigindo-se para 13% de umidade.

Cabe salientar que após a coleta e quantificação da produtividade todos os dados obtidos foram filtrados e conferidos, eliminando-se a maior e menor produtividade que vinham a destoar das demais e substituídos pela média produtiva de todas as parcelas amostrais.

### 3.4 ESTRUTURAÇÃO E ELABORAÇÃO E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Para a elaboração dos mapas dos atributos químicos do solo e de produtividade, o tratamento dos dados obtidos a campo foi realizado através do programa CR Campeiro 7 (Giotto et al., 2014). Já as imagens de satélite e zonas de manejo foram realizadas por programas da Empresa Ap Max LATINA (Rondonópolis – MT). A estatística descritiva foi obtida pelo sistema *ActionStat 3* e correspondente aos valores mínimos (Mn), máximos (Mx) e médios (Mm), desvio padrão(s), coeficiente de correlação (CV, %) e Erro (%) referentes aos atributos químicos do solo da área experimental.

O teste de correlação de Pearson também foi utilizado o componente estatístico *ActionStat 3*, com o auxílio da ferramenta matriz de correlação da estatística básica com o tipo de correlação de Person a 5 % de probabilidade erro (Becker et al.1988). O coeficiente de correlação entre essas variáveis foi calculado conforme a seguinte equação:

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

O coeficiente de correlação entre essas variáveis pode ser calculado considerando dois vetores aleatórios  $x$  e  $y$  de tamanhos  $n$  com médias  $\bar{x}$  e  $\bar{y}$  respectivamente.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao analisarmos todas as variáveis obtidas no presente estudo podemos observar grande variabilidade nos valores de coeficiente de variação (CV%) (Tabela 1), isso demonstra a heterogeneidade em torno das médias observadas. As causas desta heterogeneidade podem estar associadas à gênese do solo e das partículas que o compõe, pois sua origem resulta da alteração de rochas e sedimentos pela ação das variáveis climáticas e com a ação constantes de organismos vivos da fauna e da flora (Streck et al., 2008), bem como associada com a declividade que influencia na distribuição, arraste e ou lixiviação de nutrientes (Betoni; Lombardi, 2008) e com o material experimental (cultivar), o qual permite diferenças nas competições intraparcelar e interparcelar (STORCK et al., 2000).

Tabela 1 - Médias estatísticas descritivas correspondentes aos parâmetros geoestatísticos (valores de média, mediana, valor mínimo e máximo, variação (%), curtose e assimetria) referentes aos atributos químicos do solo da área experimental - coleta 2018. Cruz Alta, RS.

Médias estatísticas descritivas							
Atributos	Média	Mediana	Valor		Coeficiente		
			Mínimo	Máximo	Variação (%)	Curtose	Assimetria
PG (kg ha <sup>-1</sup> )	1867,7	1830,0	1500,0	2520,0	15,0	-0,70	0,58
K (mgL <sup>-1</sup> )	178,4	178,00	124,00	250,00	16,00	-0,36	0,28
P (mgL <sup>-1</sup> )	20,8	20,05	12,00	36,30	30,50	-0,48	0,50
Mn(mgL <sup>-1</sup> )	26,2	26,00	16,00	38,00	22,80	-0,80	0,45
B(mgL <sup>-1</sup> )	0,23	0,23	0,19	0,30	11,90	-0,55	0,47
Cu(mgL <sup>-1</sup> )	2,50	2,40	1,90	3,60	20,00	-0,78	0,60
Zn(mgL <sup>-1</sup> )	1,99	2,00	1,50	2,50	14,30	-0,10	-0,11
Al(cmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	0,14	0,20	0,00	0,30	71,00	-1,27	-0,14
S(mgL <sup>-1</sup> )	29,71	29,40	19,6	45,30	21,00	-0,62	0,40
Ph H <sub>2</sub> O	5,33	5,30	5,10	5,70	14,20	-0,85	0,66

Fonte: Arquivo pessoal, 2018.

Cabe salientar que uso do solo em cultivos agrícolas introduz novas fontes de heterogeneidade, tais como a distribuição irregular de restos de culturas, dos insetos, das doenças, das ervas daninhas, dos adubos aplicados, das espécies ou genótipos cultivados e da irrigação (Gomez, 1984; Steelet al., 1997). A heterogeneidade ou variabilidade de um ou mais atributos pode ser classificada conforme a magnitude do seu coeficiente de variação – CV% (Freddi et al., 2006), a qual é classificada em: a) baixa ( $CV \leq 10\%$ ), b) média ( $10\% < CV \leq 20\%$ ), c) alta ( $20\% < CV \leq 30\%$ ) e d) muito alta ( $CV > 30\%$ ) (GOMES; GARCIA; 2002).

Pela análise descritiva dos atributos químicos apresentados foram analisadas as variáveis Potássio (K), Boro (B), Zinco (Zn) e o pH H<sub>2</sub>O que obtiveram os valores em coeficiente de variação classificado como médios ( $10\% < CV \leq 20\%$ ) (Tabela 1). A produtividade de grãos (PG) também apresentou média variabilidade, com o coeficiente de variação de 15%. Dados estes que corroboram com o estudo realizado por Carvalho et al. (2006), que ao analisar a correlação da produtividade do feijão com a resistência à penetração do solo sob plantio direto observou que esta variável apresentou média variabilidade, com coeficiente de variação de 15,2% e Freddi et al. (2005) que ao analisar a variabilidade espacial da produtividade do feijão em um Latossolo Vermelho distroférico sob preparo convencional obteve um CV de 17,2%, também classificado como de média magnitude. Já Montanari et al. (2010), Martins et al. (2009), Kitamura et al. (2007) analisando a variabilidade espacial da produtividade do feijão em seus estudos encontraram para a variável produção de grão um coeficiente de variação com alta magnitude, com valores de 21,1%, 23,8% e 23,8%, respectivamente.

As variáveis Manganês (Mn), Cobre (Cu) e Enxofre (S) obtiveram valor mais expressivos de coeficiente de variação classificado como alta ( $20\% < CV \leq 30\%$ ), e o fósforo (P) e o alumínio (Al) apresentaram um coeficiente de variação muito alto ( $CV > 30\%$ ). Resultados similares também foram obtido por Silva et al. (2007) e Cocco (2016) na análise da variabilidade espacial de atributos químicos e de produtividade na cultura do café e do milho, nos quais verificou-se coeficiente de variação muito alto (72,83% e 42,46%, respectivamente) para a variável fósforo. Cocco (2016) também verificou coeficiente de variação muito alto (116,96%) para o atributo alumínio (Al), semelhante aos resultados obtidos no presente estudo.

Ainda, analisando a Tabela 1 cabe salientar que os valores da média e mediana de todas as variáveis são próximos, caracterizando distribuição simétrica dos valores

(Calvacanti, 2007), bem como é possível constatar que o valor médio da PG foi de 1867,7 kg ha<sup>-1</sup>. Este valor superou em 34% a produtividade de grãos de feijão em relação à média do estado do Rio Grande do Sul (1390 kg ha<sup>-1</sup>), referidas pela Emater (2017), e em 33% em relação à média nacional (1395 kg ha<sup>-1</sup>) segundo a Conab (2018).

A análise de um conjunto de dados só é possível com a análise simultânea de dados bivariados de indivíduos ou objetos sob investigação e a correlação é a mais usual para esta finalidade (Hair et al., 2009). A correlação é um parâmetro que relaciona duas variáveis, sendo ela positiva quando ambas as variáveis possuem relação de sinergismo, ou seja, ambas variáveis aumentam significativamente quando alterado o valor da outra; e negativa quando as variáveis possuem relação de antagonismo, ou seja, uma aumenta e a outra diminui (Cocco, 2016). Observamos, inicialmente, que a correlação é comprovada ou não pelo *p*-valor menor que o nível de significância adotado de 5% (0,05). O *p*-valor menor ou igual ao nível de significância  $\alpha$  pré-determinado, mostra que há correlação significativa entre as variáveis. Caso contrário, não haverá associação entre elas. Além disso, a correlação de Pearson pode ser interpretada através do seu valor numérico, conforme a Tabela 2.

Tabela 2 – Parâmetros para interpretação das correlações entre o *p*-valor e sua interpretação referentes aos atributos avaliados na área.

Valor de <i>p</i> (+ ou -)	Interpretação
0,00 a 0,19	Correlação bem fraca
0,20 a 0,39	Correlação fraca
0,40 a 0,69	Correlação moderada
0,70 a 0,89	Correlação forte
0,90 a 1,00	Correlação muito forte

Fonte: Becker et al.1988.

No presente estudo observa-se que a análise de correlação de Pearson é forte e significativa ao nível de 5% de probabilidade de erro entre as variáveis produtividade

de grãos do feijão em relação ao potássio do solo (0,8507) (Tabela 4), sendo positiva com um  $p$ -valor de 0,000 (Tabela 3). Este resultado pode estar associado ao K ter uma ação fundamental no metabolismo vegetal, pelo papel que exerce na fotossíntese, atuando no processo de transformação da energia luminosa em energia química (Almeida; Baumgartner, 2002; Malavolta,2006). Sendo o potássio responsável pela ativação de vários sistemas enzimáticos, muito deles participantes dos processos de fotossíntese e respiração (Oliveira et al., 2009) e, conseqüentemente, na produtividade de grãos das culturas. Por outro lado, a sua deficiência caracteriza-se por crescimento lento, raízes pouco desenvolvidas, caules fracos e muito flexíveis e mais suscetíveis a ataques de doenças (Ernani et al., 2007), além da má formação de sementes e frutos das culturas agrícolas (PITTELLA,2003).

Tabela 3 – Matriz de  $p$ -valores para a correlação simples de Pearson entre os atributos químicos do solo e produção de grão do feijoeiro, safra 2017/2018. Coleta – 2018. Cruz Alta, RS.

Matriz de $p$ – valor para a correlação de Person									
	pH	P	K	Al	S	Zn	Cu	B	Mn
PG <sup>1</sup>	0,715*	0,481	0,000*	0,754	0,373	0,927	0,181	0,260	0,289

\*O  $p$ -valor deve menor ou igual ao nível de significância  $\alpha$  pré-determinado (5% (0,05)), mostra que há correlação significativa entre as variáveis.

Fonte: Arquivo pessoal, 2018.

A influência do K do solo com a produtividade do feijoeiro, também foi observada por Rodrigues et al. (2009), os quais avaliaram a influência do manejo da adubação potássica nesta cultura quando cultivada na safra em condição de sequeiro e observaram significativa variância da produtividade de grãos conforme a aplicação de potássio. De maneira similar, Gonçalves (2010) analisando a produtividade e os componentes de produção da soja adubada com diferentes doses de fósforo, potássio e zinco verificou diferença significativa entre a produtividade da soja em relação aos incrementos dos teores de K, com um ganho produtivo. Além disso, em estudos com milho irrigado sob plantio direto Valderrama et al. (2011) observaram aumento linear conforme o incremento da adubação de potássio quanto ao número de fileiras de grãos por espiga e de grãos por fileira e, conseqüentemente, incremento no número

de grãos por espiga, fator determinante para o ganho de produtividade na cultura em questão.

Outro ponto importante no trabalho é a correlação entre as variáveis analisadas, sendo ela positiva quando ambas as variáveis possuem relação de sinergismo, ou seja, aumentam significativamente quando alterado o valor da outra. No presente estudo, houve sinergismo entre a produtividade de grãos e o nível de potássio do solo, pois ambas variáveis aumentam significativamente quando alterado o valor da outra com correlação positiva (Tabela 4). A variável pH apresenta correlação bem fraca com P (0,068), K (0,072), B (0,113) e PG (0,079), sendo fraca para Zn (0,319), o fósforo com correlação bem fraca para a PG (0,151), fraca para S (0,299) e moderada para K (0,432) e Zn (0,459), o potássio com correlação bem fraca para o Al (0,015), Zn (0,159), fraca para Mn (0,215) e como observado anteriormente forte para a PG (0,850). O alumínio com correlação bem fraca para o Cu (0,086) e a PG (0,068), fraca para o S (0,351) e moderada para o Mn (0,634), o enxofre com correlação bem fraca o Zn (0,069) e B (0,068) e fraca para Cu (0,362) e o Mn (0,316), o zinco com correlação bem fraca o Cu (0,058) e a PG (0,020) e moderada para o B (0,506), o cobre com correlação fraca com o Mn (0,361) e moderada para B (0,516), o boro com correlação bem fraca ao Mn (0,045) (Tabela 4).

No presente estudo, o inverso também é observado com correlação negativa para pH, o qual apresenta correlação fraca com Al (-0,841), Cu (-0,549) e Mn (-0,722), moderada para S (-0,393), o fósforo com correlação bem fraca para o Cu (-0,045), B (-0,107) e Mn (-0,045), fraca para Al (-0,229), o potássio com correlação bem fraca para o S (-0,097), fraca para Cu (-0,030) e B (-0,202), o alumínio com correlação fraca para o B (-0,366), moderada para o Zn (-0,506), o enxofre com correlação bem fraca o PG (-0,190), o zinco com correlação bem fraca o Mn (-0,131), o cobre com correlação fraca com o PG (-0,283), o boro com correlação fraca ao PG (-0,239) e o manganês com correlação fraca com o PG (-0,226) (Tabela 4).

Tabela 4 – Matriz de correlação simples de Pearson entre os atributos químicos do solo e produção de grão do feijoeiro, safra 2017/2018. Coleta – 2018. Cruz Alta, RS.

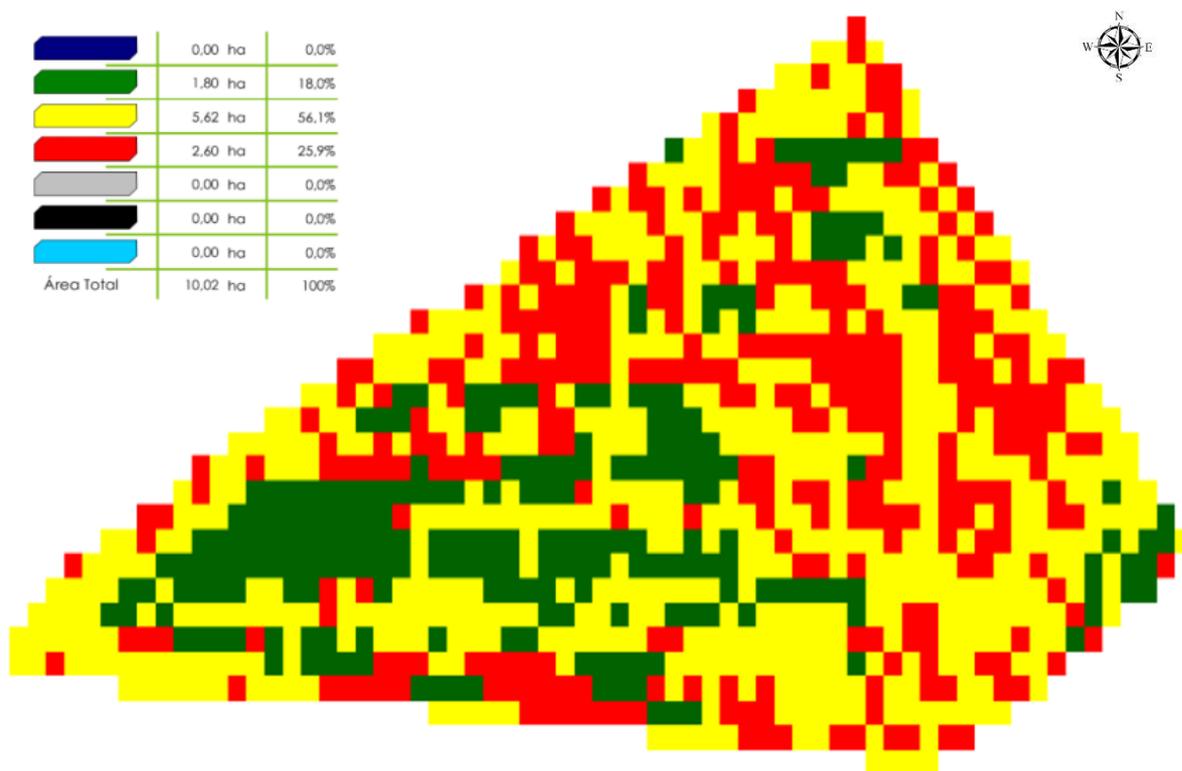
Matriz de correlação simples de Person									
	pH	P	K	Al	S	Zn	Cu	B	Mn
pH <sup>1</sup>	1								
P <sup>2</sup>	0,068 <sup>ns</sup>	1							
K <sup>3</sup>	0,072 <sup>ns</sup>	0,432 <sup>ns</sup>	1						
Al <sup>4</sup>	-0,841 <sup>ns</sup>	-0,229 <sup>ns</sup>	0,015 <sup>ns</sup>	1					
S <sup>5</sup>	-0,549 <sup>ns</sup>	0,299 <sup>ns</sup>	-0,097 <sup>ns</sup>	0,351 <sup>ns</sup>	1				
Zn <sup>6</sup>	0,319 <sup>ns</sup>	0,459 <sup>ns</sup>	0,159 <sup>ns</sup>	-0,506 <sup>ns</sup>	0,069 <sup>ns</sup>	1			
Cu <sup>7</sup>	-0,393 <sup>ns</sup>	-0,045 <sup>ns</sup>	-0,300 <sup>ns</sup>	0,086 <sup>ns</sup>	0,362 <sup>ns</sup>	0,058 <sup>ns</sup>	1		
B <sup>8</sup>	0,113 <sup>ns</sup>	-0,107 <sup>ns</sup>	-0,202 <sup>ns</sup>	-0,366 <sup>ns</sup>	0,068 <sup>ns</sup>	0,506 <sup>ns</sup>	0,516 <sup>ns</sup>	1	
Mn <sup>9</sup>	-0,722 <sup>ns</sup>	-0,045 <sup>ns</sup>	0,215 <sup>ns</sup>	0,634 <sup>ns</sup>	0,316 <sup>ns</sup>	-0,131 <sup>ns</sup>	0,361 <sup>ns</sup>	0,045 <sup>ns</sup>	1
PG <sup>10</sup>	0,079 <sup>ns</sup>	0,151 <sup>ns</sup>	0,851*	0,068 <sup>ns</sup>	-0,190 <sup>ns</sup>	0,020 <sup>ns</sup>	-0,283 <sup>ns</sup>	-0,239 <sup>ns</sup>	0,226 <sup>ns</sup>

Significativo \*( $p \leq 0,05$ ) e (ns) não significativo. (1) pH H<sub>2</sub>O; (2) Fósforo; (3) Potássio; (4) Saturaçãoalúminio; (5) Enxofre; (6) Zinco; (7) Cobre; (8) Boro; (9) Manganês; (10) Produtividade de grãos.

Fonte: Arquivo pessoal, 2018.

Para a estruturação dos modelos digitais da área foi utilizado como interpolador o inverso do quadrado da distância na ferramenta Agricultura de Precisão do Sistema CR Campeiro 7 (Giotto et al., 2016). Para representação dos mapas foi utilizado técnicas de mapas por ambiente que permitem uma representação favorecendo de modo notável a percepção visual dos mapas, correlacionando cores com os índices de cada elemento analisado. Sendo possível no presente trabalho obter um mapa com uma representação clara dos pontos de maior (verde) e menor (vermelho) produtividade (Figura 6).

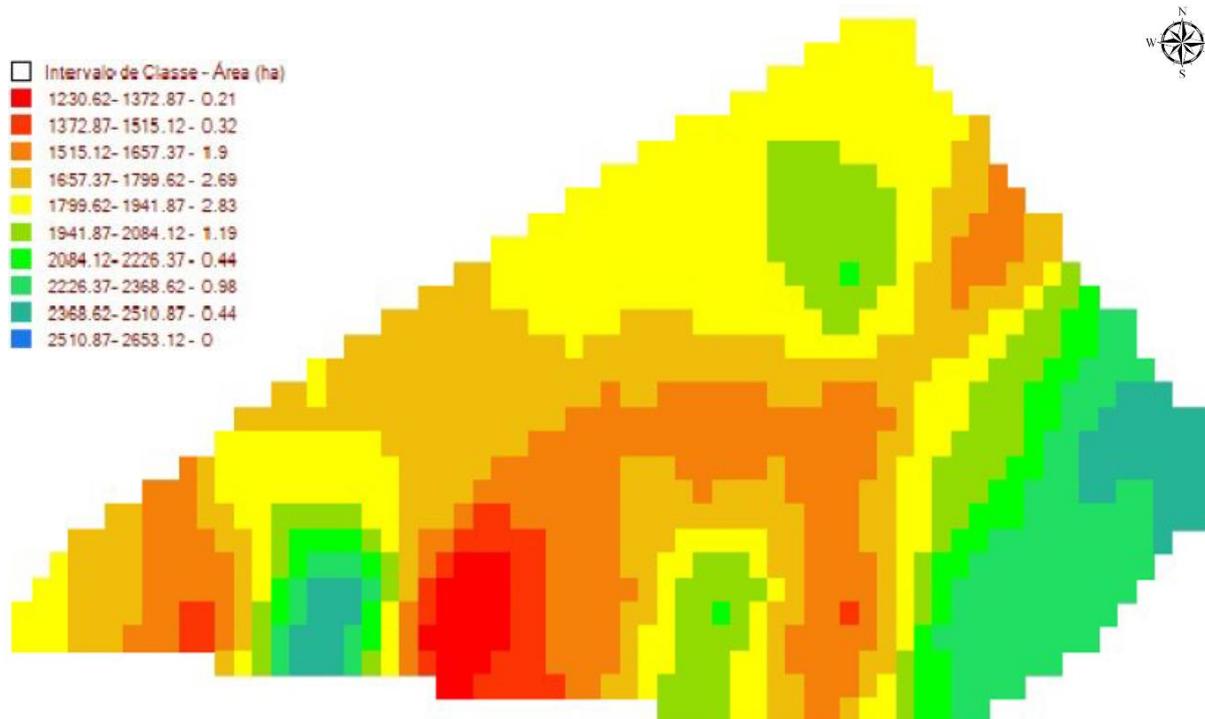
Figura 5 – Mapa de NDVI com os pontos de baixa, média e alta produtividade analisando a safra 2017/2018 concedido pela empresa AP Max LATINA da área onde se realizou o estudo e a as coletas de solo, do cultivo do feijoeiro da área experimental. Coleta – 2018. Cruz Alta. RS.



Fonte: AP Max LATINA, 2018.

A principal aplicação dos mapas temáticos é o conhecimento detalhado da variabilidade das áreas com informações georreferenciadas, possibilitando de alguma forma que possa ser realizada a recomendação e aplicação de produtos da forma mais eficiente possível e no local correto. Visando expressar tal variação identificamos na análise visual dos mapas de NDVI e produtividade (Figura 6), mostram bastante semelhança entre os pontos de baixa, média e alta produtividade de grãos do feijoeiro.

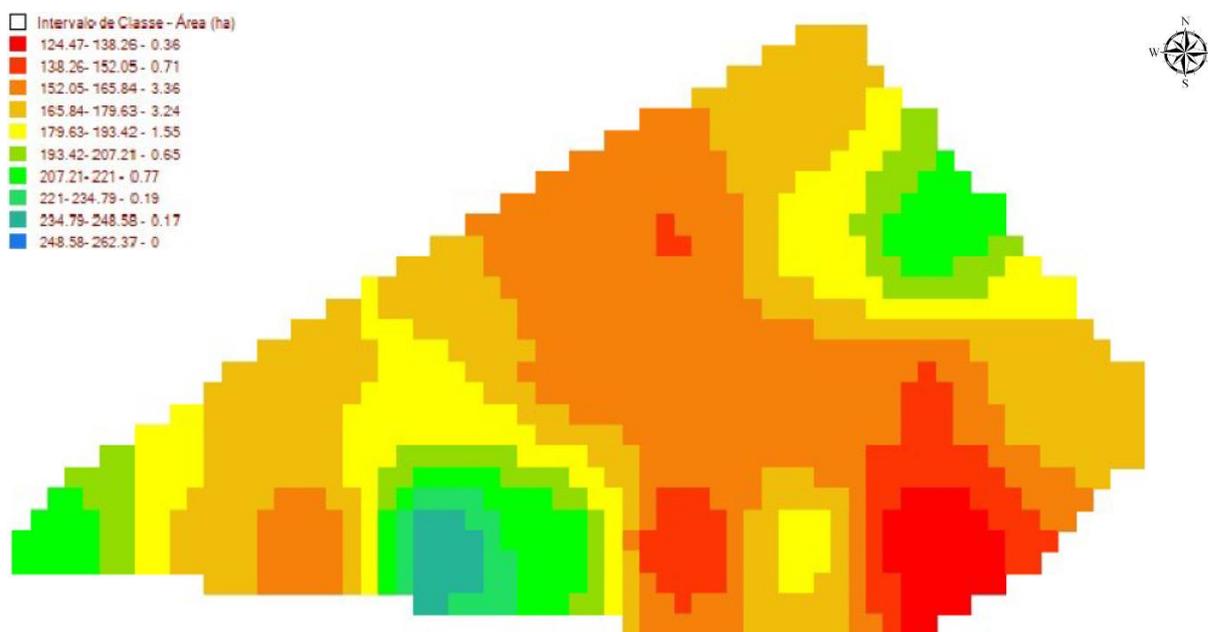
Figura 6 - Definição e representação das zonas de manejo pela média da produtividade de grãos de feijão da área experimental. Coleta – 2018. Cruz Alta, RS.



Fonte: Arquivo pessoal, 2018.

Após identificada a variação da imagem do satélite é possível confeccionar mapas que expressam a variabilidade e relacioná-las com diferentes índices, gerado individualmente zonas de alto, médio e baixo desempenho. No presente trabalho, ao analisar o mapa de produtividade em relação ao mapa de potássio da área podemos verificar que zonas de baixa, média e alta produtividade (Figura 3) estão dispostas nas áreas de menor, intermediária e alta incidência de potássio (Figura 4). Corroborando com os dados discutidos anteriormente em que a potássio foi o elemento que mostrou correlação significativa com a produtividade de grãos do feijoeiro.

Figura 7 - Definição e representação das zonas manejo com dados gerados pelos resultados obtidos em análise de solo de cada ponto amostrado em relação ao potássio (K) da área experimental. Coleta – 2018. Cruz Alta, RS.



Fonte: Arquivo pessoal, 2018.

Cabe salientar que a análise de um único ano não deve ser usada para a definição de zonas de rendimento de grãos e que a análise temporal de diversos mapas é o meio mais propício para a análise de tendências. Os resultados descritos atualmente na literatura enfatizam, portanto, que para a definição de zonas de produtividade a utilização de vários mapas temáticos e de vários anos de estudos é fundamental (Amado; Santi, 2011; Eitelwein, 2013; Horbe et al., 2013; Santiet al., 2013). Desta forma, o uso de vários mapas de produtividade para a definição e consolidação de zonas com distintos potenciais produtivos parece ser a maneira mais eficiente para caracterizar a variabilidade das lavouras (MOLIN, 2002; MILANI et al., 2006; SUSZEK et al., 2011).

## 5 CONCLUSÕES

A ferramenta que permite a utilização de imagens de satélites (NDVI) possibilitou a avaliação de diferentes anos de cultivo e de desenvolvimento produtivo da área sendo uma ferramenta de evolução para a agricultura de precisão.

A amostragem georreferenciada de solo permitiu verificar a variabilidade espacial dos atributos químicos do solo, e é uma ferramenta que auxilia no diagnóstico da fertilidade dos solos.

O mapa de produtividade é uma ferramenta de apoio a gestão da propriedade, pois permite montar a melhor estratégia para cada talhão da lavoura.

Os atributos químicos do solo possuem valores de coeficiente de variação (CV%) classificados como médios para Potássio (K), Boro (B), Zinco (Zn) e o pH H<sub>2</sub>O, como alta para Manganês (Mn), Cobre (Cu) e Enxofre (S) e muito alta para o Fósforo (P) e o Alumínio (Al).

A análise de correlação é forte e significativa ao nível de 5% de probabilidade de erro estimada para a produtividade do feijão em relação ao potássio (0,8507), sendo positiva com um p-valor de 0,000.

Pode-se afirmar que com o aumento da adubação de potássio podemos elevar a produtividade de grãos do feijoeiro.

O estudo forneceu indicativos importantes da qualidade do solo e tornou-se possível propor futuras alternativas de manejo para a área em estudo.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho enfatizou a importância da utilização de ferramentas de agricultura de precisão na definição e representação de zonas de manejo na região central do Rio Grande do Sul.

A utilização de mapas NDVI é uma tecnologia que está ao alcance do produtor e cada vez mais se mostra uma ferramenta promissora e com alguns benefícios já comprovados.

A utilização de imagens de satélites é uma evolução para a agricultura de precisão, facilitando na visualização de diferentes ambientes de desenvolvimento (zonas de manejo), por isso se torna uma ferramenta a mais para a agricultura de precisão com informações importantes ligadas nas tomadas de decisões.

Mapas de produtividade são ferramentas que expressam de forma fidedigna a variabilidade de uma área ou talhão.

A coleta georreferenciada permite quantificar e representar de forma precisa a variabilidade dos atributos químicos dos solos.

O conhecimento detalhado da área de cultivo se faz necessário para se obter um índice produtivo satisfatório.

Quanto maior e mais preciso os dados de informação melhor será o embasamento para tomada de decisão assertiva e ou correta.

A adubação do cultivo é essencial para se elevar a produtividade sendo de suma importância geração de informações e crucial a utilização das mesmas.

A partir dos resultados deste trabalho sugere-se que novos estudos sejam realizados nesta mesma linha de pesquisa para maior precisão dos dados para que possam gerar informações mais consistentes.

Sendo a recomendação da avaliação de mais anos agrícolas de suma importância.

## REFERÊNCIAS

ACQUA N. H. D. et al. Métodos de amostragem de solos em áreas sob plantio direto no Sudoeste Goiano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.17, n.2, p.117-122, 2013. Campina Grande, PB, UAEA/UFCG.

AGEITEC – **Agencia EMBRAPA de informação tecnológica**. Ano 2018. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/feijao/Abertura.html>>. Acesso em: 28 jan. 2018.

AGROSTAT – **Estatísticas de comercio exterior do agronegócio Brasileiro**. Ano 2018. Disponível em: <http://indicadores.agricultura.gov.br/agrostat/index.htm> Acesso em: 28 ago. 2018.

ALBUQUERQUE, J. A. et al. Variabilidade de solo e planta em podzólico vermelho-amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.20, n.1, p.151-157, 1996.

ALMEIDA, M. C.; BAUMGARTNER, J. G. Efeitos da adubação nitrogenada e potássio na produção e na qualidade de frutos de laranjeira-valencia. **Revista Brasileira de Fruticultura**. v. 24, p. 261-268, 2002.

AMADO, T. J. C. et al. Variabilidade espacial e temporal da produtividade de culturas sob sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 1101-1110, 2007.

AMADO, T. J. C.; SANTI, A. L. Using precision farming to overcome field-limiting factors in southern Brazil oxisols: a case study. In: CLAY, D. E.; SHANAHAN, J. F. (Ed.). **GIS applications in agriculture**. Boca Raton: CRC Press, p. 31-60. 2011.

ANDRADE, H. et. al. **Geoprocessamento Aplicado a Solos e Meio Ambiente**. Lavras: UFLA/ FAEPE, 2006. 58p.

ANTUNES, M. U. F. **Análise espaço temporal da produtividade de uma lavoura de soja (*Glycine max* (L.) Merril)**. 2006. Dissertação (Mestrado em Patrimônio Cultural) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

ANTUNIASSI, U. R.; BAIO, F. H. R.; SHARP, T. C. Agricultura de precisão: eletrônica embarcada e monitoramento da produtividade. Disponível em: <<http://www.cnpa.embrapa.br/produtos/algodao/publicacoes/cba6/palestras/1622.pdf>> Acesso em: 28 nov. 2017.

ARVUS. **Agricultura de precisão**: Ano 2007. Disponível em: <[http://www.arvus.com.br/publicacoes\\_exibe.html?id=1](http://www.arvus.com.br/publicacoes_exibe.html?id=1)>. Acesso em: 27 nov. 2017.

ASSAD, E.; SANO, E. SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS: Aplicações na agricultura. 2ª edição revista e ampliada, Brasília - DF: **EMBRAPA-SPI / EMBRAPA-CPAC**, 2003.

BAESSO, M. M. et al. Determinação do “status” nutricional de nitrogênio no feijoeiro utilizando imagens digitais coloridas. **Engenharia Agrícola**, v.27, n.2, p.520-528, 2007.

BALASTREIRE, L. A. Aplicação Localizada de Insumos-ALI: Um velho conceito novo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 1994, Campinas/SP. **Anais...** Campinas/SP: Unicamp, 1994. 248 p.

BALASTREIRE, L. A. Estudo de caso, uma pesquisa brasileira em agricultura de precisão. In.: SILVA, F. M.; BORGES, P. H. M. **Mecanização e agricultura de precisão**. Lavras: UFLA; SBEA, 1998. p. 302-331.

BARATTO, J.; et al. Análise histórica da precipitação pluviométrica em passo fundo e cruz alta – municípios da bacia hidrográfica do alto Jacuí/rs. Goiânia- GO. 2016.

BECKER, R. A., CHAMBERS, J. M. WILKS, A. R. (1988) *The New S Language*. Wadsworth & Brooks/Cole.

BERTONI, J.; LOMBARDI, F. N. Conservação do solo. 6. ed. São Paulo: Ícone, 2008;355.

BLACKMORE, S.; GODWIN, R. J.; FOUNTAS, S. The analysis of spatial and temporal trends in yield map data over six years. **BiosystemsEngineering**, v.84, n. 4, p. 455- 466, 2003.

BOEMO, D. **Desenvolvimento de Sistemas de Geoprocessamento e tecnologia móvel aplicada à agricultura de precisão**.2011. Disponível em: <[http://w3.ufsm.br/ppgea/admin/teses/0612111419\\_2011\\_Boemo.pdf](http://w3.ufsm.br/ppgea/admin/teses/0612111419_2011_Boemo.pdf)>. Acessado em 12 jul. 2018.

BRAGACHINI, M. et al. **Fertilizacion y densidad de siembravariabile**. Informe Técnico de divulgación. Disponível em <http://www.agriculturadeprecision.org/articulos/dosis-variable/Fertilizacion-y-Densidad-iembra-Variable.asp>. Acesso em: 9 jul. 2018.

CAMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à ciência da geoinformação**INPE 2001 São José dos Campos. Disponível em: <<http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/04.22.07.43/doc/publicacao.pdf>> Acesso em: 26 nov. 2017.

CANTARUTTI, R. B. et al. Avaliação da fertilidade do solo e recomendação de fertilizantes. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de ciência do Solo, 2007. p. 769-850.

CAON, D. **Espacialização e mapeamento da fertilidade em diferentes camadas do solo e densidades amostrais**. 2012. 63f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia), Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava. 2012.

CARBONELL, S. A. M. et al. **Cultivares comerciais de feijoeiro para o Estado de São Paulo: Características e melhoramento**. In: CASTRO, J.L.; ITO, M.F.

(Coord.). DIA DE CAMPO DE FEIJÃO, 19, 2003, Capão Bonito. Campinas: Instituto Agrônomo, 2003. p.5-27 (Documentos IAC, 71).

CARBONELL, S. A. M.; AZEVEDO FILHO, J. A.; DIAS, L. A. S.; GONÇALVES, C.; ANTONIO, C. B. Adaptabilidade e estabilidade de produção de cultivares e linhagens de feijoeiro no Estado de São Paulo. **Bragantia**, v.60, n.2, p.69-77, 2001.

CARBONELL, S. A. M.; POMPEU, A. S. Estabilidade fenotípica de linhagens de feijoeiro em três épocas de plantio no Estado de São Paulo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.2, p.321-329, 2000.

CARVALHO, G. J. et al. Correlação da produtividade do feijão com a resistência a penetração do solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB. v.10, n.3, p.765–771, 2006.

CARVALHO, M. P. et al. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em Vitória Brasil (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Vicosa, v. 27, n. 4, p. 695-703, 2003.

CAVALCANTE, E. G. S. et al., Variabilidade espacial de MO, P, K e CTC do solo sob diferentes usos e manejos. **Ciência Rural**, v.37, n.2, mar-abr, 2007.

CAVALLARI, R. L. A importância de um Sistema de Informações Geográficas no Estudo de Microbacias Hidrográficas. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, v. 6, n. 11, 2007. Disponível em:  
<[http://faef.revista.inf.br/imagens\\_arquivos/arquivos\\_destaque/b659XY730u80PB9\\_2013-5-3-11-28-57.pdf](http://faef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/b659XY730u80PB9_2013-5-3-11-28-57.pdf)>. Acesso em: 26 nov. 2017.

CEPEF - Comissão Estadual de Pesquisa de Feijão Feijão: recomendações técnicas para cultivo de feijão no Rio Grande do Sul / Comissão Estadual de Pesquisa de Feijão.Santa Maria, 2000. 80 p.

CHERUBIN, M. R. et al.; Amostragem de solo na agricultura de precisão. In: SANTI, L. A.; GIOTTO, E.; SEBEM, E.; AMADO, T. J. C. (Org.). **Agricultura de precisão do Rio Grande do Sul**. Santa Maria, RS: CESPOL, 2016, p. 80 - 98.

COCCO, L. B. Utilizando ferramentas da agricultura de precisão na definição de zonas de manejo. Santa Maria – RS. 55 f. 2016.

COELHO, A. M. Agricultura de precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e das culturas. **Tópicos da Ciência do Solo**, v.3, p.249-290, 2003.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Compêndio de Estudos Conab / Companhia Nacional de Abastecimento**. – v. 1 (2016). - Brasília: Conab, 2016.

CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 10 jan. 2018.

CORÁ, J. E. et al. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 1013-1021, 2004.

DAINESE, R. C.; MOREIRA, M. A.; MOLIN, J. P. Imagens landsat para mapeamento de variabilidade de produtividade de soja e milho em agricultura de precisão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2006, São Pedro/SP. **Anais...** São Pedro/SP: ESALQ, 2006.

DAMIAN, J. M. et al.; O uso de aeronaves remotamente pilotadas (RPAS) na agricultura. In: SANTI, L. A.; GIOTTO, E.; SEBEM, E.; AMADO, T. J. C. (Org.). **Agricultura de precisão do Rio Grande do Sul**. Santa Maria, RS: CESPOL, 2016, p. 286-309.

DELLAMEA, R. B. C. et al. Agricultura de precisão voltada à melhoria da fertilidade do solo no sistema plantio direto. XXXI Congresso Brasileiro de ciência do solo. 2007. Anais...

DODERMANN, A.; PING, J. L. Geostatistical integration of yield monitor data and remote sensing improves yield maps. **Agronomy Journal**, v.96, n.1, p.285-297, 2004.

DURIGON, M. A. et al. **Estratégias de comercialização do feijão no Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2015. 36p.

EITELWEIN, M. T. **Definição de estabilidade produtiva e relação com atributos de solo em áreas manejadas com agricultura de precisão**. Dissertação - Mestrado em Mestrado em Agronomia - Agricultura e Ambiente – UFSM, Santa Maria – RS, 2013, 90p.

ELIAS, D. Globalização, agricultura e urbanização no brasil. ACTA Geográfica. **Geografia Agrária**, p.13-32. 2013.

EMATER – Estimativas iniciais, área e produção e regiões administrativas. Safra verão 2017/18. Informativo conjuntural. 2017.

EMBRAPA, 2011. Informações Técnicas para Trigo e Triticale - Safra 2012. In: V REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO E TRITICALE, 2011, Dourados/MS. **Anais...** Dourados/MS: EmbrapaAgropecuária Oeste, 2011.

EMBRAPA - **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**. Ano 2018. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/grandes-contribuicoes-para-a-agricultura-brasileira?link=acesso-rapido>>. Acesso em: 28 jan. 2018.

EMMOTT, A; HALL, J.; MATTHEWS, R. **Precisionfarmingappliedto plantation agriculture**. Disponível na Internet: <<http://www.silsoe.cranfield.ac.uk/cpf>>. Acessoem: 28 nov. 2017.

ERNANI, P.R.; et al. Mobilidade vertical de cátions influenciada pelo método de aplicação de cloreto de potássio em solos com carga variável. R. Bras. Ci. Solo, 31:393-402, 2007.

FIORIN, J.E.; AMADO, T. J. C. Projeto apcoop: agricultura de precisão no sistema cooperativo do rio grande do sul. Agricultura de precisão no Rio Grande do Sul. 1. ed. Santa Maria. 309 p. 2016.

FLEMING, K. L.; WESTFALL, D. G.; HEERMANN, D. G. **Farmer developed management zone maps variable rate fertilizer application.** In: Precision Agriculture. ASA-CSSA-SSSA, Madison, 1999, p. 917-926.

FLOWERS, M.; WEISZ, R.; WHITE, J. G. Yield-Based Management Zones and Grid Sampling Strategies. **Agronomy Journal**, v. 97, p. 968, 2005.

FRAISSE, C. W.; SUDDUTH, K. A.; KITCHEN, N. R. Delineation site- specific management zone by unsupervised classification of topographic attributes and soil electrical conductivity. **Transactionsofthe ASAE**, v.44, n.1, p.155-166, 2001.

FRASSONI, F. R.; MOLIN, J. L. Análise da variabilidade espacial da produtividade de soja utilizando recursos do software R. In: 2º CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2006, São Pedro/SP. **Anais...** São Pedro/SP: ESALQ, 2006.

FREDDI, O. S. et al. Variabilidade espacial da produtividade do feijão em um Latossolo Vermelho distroférico sob preparo convencional e plantio direto **Acta Scientiarum. Agronomy**, vol. 27, núm. 1, enero-marzo, pp. 61-67 2005.

FREIRE FILHO, F. R. et al. **Panorama da cultura do feijão-caupi no Brasil. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.** Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento Embrapa Amapá, 2007.

GIMENEZ, L. M.; MOLIN, J. P. Algoritmo para redução de erros em mapas de produtividade para agricultura de precisão. **Revista Brasileira de Agrocomputação**, v.2, n.1, p.5-10, Jun. 2004. Disponível em: <<http://www.leb.esalq.usp.br/download/APP%202004.02.pdf>>. Acesso em: 28 nov. 2017.

GIOTTO, E. et al. Agricultura de precisão no sistema cr campeiro 7. 1. Ed. Santa Maria. 301 p. 2016.

GIOTTO, E. **Projeto CR Campeiro**. Disponível em: <<http://www.crcampeiro.net/novo/Pages/apresentacao>>. Acesso em: 10 Jul. 2017.

GOMES, F. P.; GARCIA, C. H. **Estabilidade aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309 p.

GOMES, F.P. A estatística moderna na pesquisa agropecuária. 1. ed. Piracicaba: Potafós, 1984.

GOMES, F. A estatística moderna na pesquisa agropecuária. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 160 p. 1984.

GOMES, F.; GARCIA, C. H. Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais. Piracicaba: FEALQ, 309 p. 2002.

HAIR, J. F. et al. Análise multivariada de dados. 6. Ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 899p.

HANEAKLAUS, S. et. al. Routines for eficiente yield mapping. In:INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 2000. **Proceedings...** Minneapolis: ASAE, 2000.

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

INMET- Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: <<<http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/inicio.php>>. Acesso em Set. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário**. 2006. Disponível em:

<<http://www2.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?c=1109&z=p&o=2&i=P>>.

Acessoem: 14 ago. 2017.

JOHANNSEN, C. J. et al. **Cornucopia of agricultural applications**. Space Imaging, Thornton, Jan/Fev, p. 22-3, 2000.

JUNIOR, F. A. R. Geração de zonas de manejo para cafeicultura empregando-se sensor SPAD e análise foliar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.15, n.8, p.778-787, 2011.

KHAKURAL, B. R.; ROBERT, P. C.; HUGGINS, D. R. Variability of corn/soybean yield and soil/landscape properties across a southwestern Minnesota Landscape. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 1998, Medison. **Proceedings...** Medison: American Society of Agronomy, 1998. p.573- 579.

KIRSCHNER, S. F. **Um sistema de auxílio à coleta de dados na área de agricultura de precisão baseado em aplicações móveis**. 2012. Dissertação (Mestrado em Patrimônio Cultural) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2012.

KITAMURA, A.E.; CARVALHO, M.P.; LIMA, C.G.R. Relação entre a variabilidade espacial das frações granulométricas do solo e a produtividade do feijoeiro sob plantio direto. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, 31:361-379, 2007.

LARK, R.; STAFFORD, J. Classification as a first step in the interpretation of temporal and spatial variation of crop yield. **Applied Biology**, v.130, p. 111-121, 1997.

LARK, R.M. et al. Analysis of yield maps in support of field investigation of soil variation. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 1999, Odense/Dinamarca. **Proceedings...** Odense/Dinamarca: 1999. p.151-162.

LAWES, R. A.; ROBERTSON, M. J. Whole farm implications on the application of variable rate technology to every cropped field. **Field Crops Research**, v. 124, p. 142-148, 2011.

MACHADO, L. O. et al., Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em áreas sob sistema plantio convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 591-599, 2007.

MACHADO, P. L. O. A.; SILVA, C. A.; BERNARDI, A. C. C. **Variabilidade de atributos de fertilidade e espacialização da recomendação de adubação e calagem para a soja**. In: MACHADO, P. L. O. A.; SILVA, C. A.; BERNARDI, A. C. C. (Eds.) Agricultura de precisão para o manejo da fertilidade do solo em sistema de plantio direto. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, p.115-129. 2004.

MAIA, A. G.; BAUAINAIN, A. M. Novo mapa da população rural brasileira. **Confins** (online), v. 25, 2015. Disponível em: <<http://confins.revues.org/10548>>. DOI: 10.4000/confins.10548>. Acesso em: 29 set. 2017.

MARTINS, M.V. et al. Correlação linear e espacial entre a produtividade do feijoeiro e atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico de Selvíria, Estado de Mato Grosso do Sul. **Acta Scientia Agronomic**, 31:147-154, 2009.

MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo: **Agronômica Ceres**, 631 p. 2006.

MALUF, J. R. T., CUNHA, G. R. MATZENAUER, R. **Zoneamento agroclimático e de riscos climáticos para a cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris*L.) no Rio Grande do Sul: períodos favoráveis de semeadura por município**, safra 2001/2002. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2001. 15p.

MANTOVANI, E. C. **Agricultura de precisão na Embrapa**. Brasília: [s.n.], 2006. 8p. Disponível em: [http://www.ripa.com.br/fileadmin/user\\_upload/\\_temp\\_/Projeto\\_Agricultura\\_de\\_PrecisaoJunho\\_2006.doc](http://www.ripa.com.br/fileadmin/user_upload/_temp_/Projeto_Agricultura_de_PrecisaoJunho_2006.doc). Acesso em: 9 jul. 2017.

MARTIN, N. B. **A informática no campo**. Informações Econômicas: SP, v.23, n.08, ago. 1993.

MARTINEZ, E. **Ciencia, tecnologia y desarrollo: inter-relaciones teóricas y metodológicas**. Santiago: Nueva sociedade, 1994.

MARTINEZ, P. **Uso eficiente del agua enriego**. In: Uso eficiente del agua. Disponível em: [www.unesco.org.uy/phi/libros/uso\\_eficiente/cap4.html](http://www.unesco.org.uy/phi/libros/uso_eficiente/cap4.html). 1991. Acesso em 17 jun. 2017.

MASSRUHÁ, S. M. F. S.; LEITE, M. A. de A. Agricultura Digital. **RECoDAF – Revista Eletrônica Competências Digitais para Agricultura Familiar**, Tupã, v. 2, n. 1, p. 72-88, jan./jun. 2016. ISSN: 2448-0452.

MASSRUHÁ, S. M. F. S.; LEITE, M. A. de A.; LUCHIARI JUNIOR, A.; ROMANI, L. A. S. (Ed.). **Tecnologias da informação e comunicação e suas relações com a agricultura**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. Cap. 1. p. 23-38.

MEDEIROS, F. A. et al. Utilização de um veículo aéreo não-tripulado em atividades de imageamento georeferenciado. **Ciência Rural**, v.38, n.8, p. 2375-2378, 2008.

MILANI, L. et al. Unidades de manejo a partir de dados de produtividade. **Acta Sci. Agron.**, n.28, p.591-598, 2006.

MOLIN, J. P. **Agricultura de precisão – o gerenciamento da variabilidade**. Piracicaba: 2001, 83 p.

MOLIN, J. P. Agricultura de precisão, parte I. O que é e estado da arte em sensoriamento. **Engenharia Agrícola**, v. 17, p. 97-107, 1997.

MOLIN, J. P. Geração e interpretação de mapas de produtividade para a agricultura de precisão. In: BORÉM, A.; GIÚDICE, M. P.; QUIROZ, D. M.; MANTOVANI, E. C.;

FERREIRA, L. R.; VALLE, F. X. R.; GOMIDE, R. L. **Agricultura de precisão**. Universidade Federal de Viçosa, 2000.

MOLIN, J. P. **Tendências da agricultura de precisão no Brasil**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2004, Piracicaba/ SP. Anais... Piracicaba/ SP, 2004.

MONTANARI, R.; et al. Aspectos da produtividade do feijão correlacionados com atributos físicos do solo sob elevado nível tecnológico de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 34:1811-1822, 2010.

MONTEZANO, Z. F.; CORAZZA, E. J.; MURAOKA, T. Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada e manejada homogeneamente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.839-847, 2006.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. São José dos Campos: INPE, 2001. 250p.

MORENO, J.A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre:SecretariadaAgricultura, 1961. 41p.

MOTOMIYA, A. V. A.; CORÁ, J. E.; PEREIRA, G. T. Uso da krigagem indicatriz na avaliação de indicadores de fertilidade do solo **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 30:485-496, 2006.

MUNDOGEO. **Mapas de produtividade na agricultura de precisão**. Ano 2010. Disponível em: <<http://mundogeo.com/blog/2000/01/01/mapas-de-produtividade-na-agricultura-de-precisao/>>. Acesso em: 28 nov. 2017.

OLIVEIRA, F. H. T. et al. Amostragem para avaliação da fertilidade do solo em função do instrumento de coleta das amostras e de tipos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.973-983, 2007.

OLSON, R. K.; FRANCIS, C. A.; KAFFKA, S. Exploring the Role of Diversity in Sustainable Agriculture. Madison, Wis.: **American Society of Agronomy**. 1995.

PAZ, M. R.; FRANÇA, F. A., LOCH, C. A Importância da Adoção de Técnicas de Geoprocessamento no Planejamento Agroecológico de Propriedades Rurais Familiares. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 4, n.2, 2009.

PEDROSO, M. et al. A segmentation algorithm for the delineation of agricultural management zones. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 70, p. 199-208, 2010.

PESSOA, M. F. et al. Estudo da cobertura vegetal em ambientes da caatinga com diferentes formas de manejo no assentamento Moacir Lucena, Apodi – RN. **Revista Caatinga**, v. 21, n. 3, p. 40-48. 2008.

PETILIO, A. et al. Um breve estudo da viabilidade de aplicação de técnicas de agricultura de precisão. **Revista científica eletrônica de agronomia**, n. 11, 2007.

PETILIO, A.; PEREIRA, M.; PERÃO, G.; TAMAE, R. Y. Um breve estudo da viabilidade de aplicação de técnicas de agricultura de precisão. **Revista científica eletrônica de agronomia**, n.11, 2007.

PIANA, C. F. B. et al. Adaptabilidade e estabilidade do rendimento de grãos de genótipos de feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, n.4, p.553-564, 1999.

PIERCE, F. J.; NOWAK, P. **Advances in Agronomy Volume 67**. [s.l.] Elsevier, 1999. v. 67 DOERGE, T. Defining management zones for precision farming. **Crop Insights**, v. 8, p.1-5, 1999.

PITTELLA LC. 2006. Fertilização In: Bonsai Cube Morro Velho, setembro de 2003. Disponível em: [http://www.bonsaimorrovelho.com.br/bcmv\\_mt\\_fertilizacao.html](http://www.bonsaimorrovelho.com.br/bcmv_mt_fertilizacao.html). Acesso em 21 de abril de 2017.

RAMALHO, M. A. P. et al. Interações genótipos x épocas de semeadura, anos e locais na avaliação de cultivares de feijão nas regiões sul e Alto Paranaíba em Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, v.22, n.2, p.176-181, 1998.

RAMOS, E. U.; BORGES L. L.; BENETOLI S., T. R. Componentes da produção, produtividade de grãos e características tecnológicas de cultivares de Feijão. **Bragantia**, v. 64, n. 1, p. 75-82, 2005.

RESENDE, A. V. et al. Agricultura de Precisão no Brasil: Avanços, Dificuldades e Impactos no Manejo e Conservação do Solo, Segurança Alimentar e Sustentabilidade. In: XVIII REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 2010, Teresina/PI. **Anais...** Teresina/PI: UFPI, 2010.

RESENDE, A. V. et al. **Diagnóstico nutricional de uma lavoura de soja a partir de informações georreferenciadas**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2005, 30p.

RESENDE, A. V. et al. Grades amostrais para fins de mapeamento da fertilidade do solo em área de cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2006, São Pedro/SP. **Anais...** São Pedro/SP: ESALQ, 2006.

RIFFEL, C. T. et al. Densidade amostral aplicada ao monitoramento georreferenciado de lagartas desfolhadoras na cultura da soja. **Ciência Rural**, v. 43, p. 2112-2119, 2012.

RODRIGUES, M. Introdução ao geoprocessamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO, 1, 1990, São Paulo/ SP. **Anais...** São Paulo/ SP, 1990.

ROLAS. Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Comissão de química e fertilidade do solo. 10.ed. Porto Alegre, 2004.

RUSSINI, A.; CHERUBIN, R. M.; BERAS, G. J. Análise econômica do uso de agricultura de precisão. In: SANTI, L. A.; GIOTTO, E.; SEBEM, E.; AMADO, T. J. C.

(Org.). **Agricultura de precisão do Rio Grande do Sul**. Santa Maria, RS: CESPOL, 2016, p. 121-136.

SANTI, A. L. **Relações entre indicadores de qualidade do solo e a produtividade das culturas em áreas com agricultura de precisão**. 2007. 175 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) –Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria.

SANTI, L. A. et al. (Org.). **Agricultura de precisão do Rio Grande do Sul**. Santa Maria, RS: CESPOL, 2016, p. 286 - 309.

SANTI, A. S., et al. Distribuição espaço-temporal de lagartas desfolhadoras e sua correlação com o rendimento de grãos na cultura da soja. Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar. Agricultura de precisão: resultado de um novo olhar. P. 260. 2013.

SCHEPERS, J. S.; SCHLEMMER, M. R.; FERGUSON, R. B. Specific Considerations for Managing Phosphorus. **Journal of Environment Quality**, v.29, n.1, p. 125, 2000.

SCHEPERS, A. R. et al. A. Appropriateness of management zones for characterizing spatial variability of soil properties and corn yields across years. **Agronomy journal**, v. 96, p. 195-203, 2004.

SCHEPERS, A. R. et al. Appropriateness of management zones for characterizing spatial variability of soil properties and irrigated corn yields across years. **Agronomy Journal**, v.96, p.195-203, 2005.

SCHWALBERT, R. A.; CORASSA, G. M.; AMADO, T. J. C. Definição de zonas de manejo utilizando “multi-layers” e sensoriamento “on-the-go”: definições e usos. In: SANTI, L. A.; GIOTTO, E.; SEBEM, E.; AMADO, T. J. C. (Org.). **Agricultura de precisão do Rio Grande do Sul**. Santa Maria, RS: CESPOL, 2016, p. 234 - 249.

SENA JÚNIOR, D. G. et al. Discriminação entre estágios nutricionais na cultura do trigo com técnicas de visão artificial e medidor portátil de clorofila. **Engenharia Agrícola**, v.28, n.1, p.187-195, 2008.

SILVA, F. M. et al. Variabilidade espacial de atributos químicos e de produtividade na cultura do café. **Ciência Rural**, v.37, n.2, mar-abr, 2007.

SILVA, C. B.; MORETTO, A. C.; RODRIGUES, R. L. **Viabilidade econômica da agricultura de precisão: o caso do paraná**, 2012. Disponível em:<  
<http://www.sober.org.br/palestra/12/12O499.pdf>> Acesso em: 28 nov. 2017.

SILVA, M. A. G. et al. Amostragem e variabilidade nos atributos de fertilidade em um Latossolo sob plantio direto em São Miguel do Iguçu, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 25, p.243-248, 2003.

SILVA, P. C. M.; CHAVES, L. H. G. Avaliação e variabilidade espacial de fósforo, potássio e matéria orgânica em Alissolos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 5, n. 03, p. 431-436, 2001.

SILVA, V. R. et al. Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.6, p.1013-1020, 2003.

SOUZA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção. In: Novais, F. N.; Alvarez V., V. H.; Barros, N. F. de; Fontes, R. L. F.; Cantarutti, R. B.; Neves, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 205-274.

SOUZA, Z. M. et al. Micromorfologia do solo e sua relação com atributos físicos e hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.3, p.487-492, 2006.

SOUZA, Z. M. et al. Variabilidade espacial do pH, Ca, Mg e V% do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Ciencia rural**. Santa Maria. V. 34, n.6, p. 1763-1771, nov-dez, 2014.

STEEL, R.G.D. et al. **Principles and procedures of statistics**. 3.ed. New York: McGraw Hill, 1997. 666p.

STORCK, L. et al. Experimentação vegetal. Santa Maria : UFSM, 2000. 198p.

STRECK, E.V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. ed. Porto Alegre: EMATER/RS, 2008, 222p.

SUSZEK, G.; SOUZA, E. G.; OPAZO, M. A. U.; NÓBREGA, L. H. P.  
Determination of management zones from normalized and standardized equivalent productivity maps in the soybean culture. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 5, p. 895-905, 2011.

TALAMINI, V. et al. **Qualidade fisiológica e sanitária de sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) produzidas por agricultores familiares em Sergipe**. Embrapa tabuleiros costeiros. Aracaju, 2010. 22p.

TREVISAN, L. R. et al. Variabilidade vertical de pH, bases e enxofre em Latossolo Vermelho cultivado sob sistema plantio direto e cultivo mínimo. **Horizonte Científico**, v. 7, p.1-11, 2008.

VELANDIA, L. F. M. Factors affecting farmers' utilization of agricultural risk management tools: the case of crop insurance, forward contracting and spreading sales. **Journal of Agricultural and Applied Economics**, [S.l.], v. 41, n. 1, p. 107-123, 2009.

VIEIRA, S. R.; XAVIER, M. A.; GREGO, C. R. **Aplicações de geoestatística em pesquisas com cana-de-açúcar**. In: DINARDO-MIRANDA, L.L., VASCONCELOS, A.C.M. & LANDELL, M.G.A. (Eds). Cana de açúcar. 1 ed. Ribeirão Preto: Instituto Agrônomo, v. 1, p. 839-852, 2008.

VIEIRA, S.R. et al. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, v.51, n.3, p.1-75, 1983.

VILELA, M. F. et al. Fotografia aérea no monitoramento e diagnóstico de uma área cultivada com milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2006, São Pedro/SP. **Anais...** São Pedro/SP: ESALQ, 2006.

YOKOYAMA, L.P. et al. **Sementes de feijão: Produção, uso e comercialização**. In: VIEIRA, E.H.N.; RAVA, C.A. (Ed.). Sementes de feijão: Produção e tecnologia. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2000. p.249-270.

ZIMMERMANN, M. J. O.; CARNEIRO, J. E. S.; DEL PELOSO, M. J.; COSTA, J. G. C.; RAVA, C. A.; SARTORATO, A.; PEREIRA, P. A. A. **Melhoramento genético e cultivares**. In: ARAUJO, R. S.; RAVA, C. A.; STONE, L. F.; ZIMMERMANN, M. J. O. (Coords.). Cultura do feijoeiro comum no Brasil. Piracicaba: POTAFOS, 1996, p.223-273.