

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

Ropson Delavi Jendrzikowski

**TÉCNICAS DE AGRICULTURA DE PRECISÃO NA OBTENÇÃO DE DADOS
ALTIMÉTRICOS PARA PLANEJAMENTO CONSERVACIONISTA
DO SOLO E DA ÁGUA**

Santa Maria, RS
2018

Ropson Delavi Jendrzikowski

**TÉCNICAS DE AGRICULTURA DE PRECISÃO NA OBTENÇÃO DE DADOS
ALTIMÉTRICOS PARA PLANEJAMENTO CONSERVACIONISTA
DO SOLO E DA ÁGUA**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado profissional no Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre em Agricultura de Precisão.**

Orientador: Prof^o Dr^o Antônio Luis Santi

Santa Maria, RS
2018

Jendrzikowski, Ropson Delavi
TÉCNICAS DE AGRICULTURA DE PRECISÃO NA OBTENÇÃO DE
DADOS ALTIMÉTRICOS PARA PLANEJAMENTO CONSERVACIONISTA DO
SOLO E DA ÁGUA / Ropson Delavi Jendrzikowski.- 2018.
52 p.; 30 cm

Orientador: Antônio Luis Santi
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Colégio Politécnico, Programa de Pós-Graduação em
Agricultura de Precisão, RS, 2018

1. Geoestatística 2. Conservação do solo 3. Conservação
da água 4. Mecanização agrícola I. Santi, Antônio Luis II.
Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

© 2018

Todos os direitos autorais reservados a Ropson Delavi Jendrzikowski. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

E-mail: ropsondelavi@hotmail.com

Ropson Delavi Jendrzikowski

**TÉCNICAS DE AGRICULTURA DE PRECISÃO NA OBTENÇÃO DE DADOS
ALTIMÉTRICOS PARA PLANEJAMENTO CONSERVACIONISTA
DO SOLO E DA ÁGUA**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado profissional no Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre em Agricultura de Precisão.**

Aprovado em 29 de março de 2018

Profº Drº Antônio Luis Santi (UFSM)/FW
(Presidente/Orientador).

Profª Drª Lisandra Pinto Della Flora (IFFar)/FW

Profº Drº Marcelo de Farias (UFSM)/FW

Santa Maria, RS.
2018

A minha noiva Maria e aos meus pais Ceslau e Regina, pelo amor, companheirismo e incentivo.

DEDICO...

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelo dom da vida, e por iluminar meu caminho em todos os momentos;

A Prof. Drº Antônio Luis Santi, pela confiança, orientação e apoio para a realização deste trabalho;

Aos meus pais Ceslau Jendrzikowski e Regina Jendrzikowski, fontes da minha vida, formação e caráter;

A Maria Inês Diel pela constante e incansável força, incentivo, apoio e amor em todas as etapas desta caminhada;

Aos novos e sinceros amigos conquistados no decorrer do mestrado e principalmente ao Fabio Henrique Gebert pela amizade, companheirismo e ensinamentos compartilhados no decorrer deste período.

Aos professores do Programa de Pós Graduação em Agricultura de Precisão pelos ensinamentos no decorrer do curso. À Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão (PPGAP) pela oportunidade de cursar Mestrado.

E a todos que, direta ou indiretamente, me ajudaram na conquista de mais essa etapa da minha vida.

Meu mais sincero AGRADECIMENTO

“A ignorância não é saber pouco, e sim acreditar saber o suficiente”.

A. J. Daniel

RESUMO

TÉCNICAS DE AGRICULTURA DE PRECISÃO NA OBTENÇÃO DE DADOS ALTIMÉTRICOS PARA PLANEJAMENTO CONSERVACIONISTA DO SOLO E DA ÁGUA

AUTOR: Rospson Delavi Jendrzikowski
ORIENTADOR: Antônio Luis Santi

A agricultura de precisão vem ganhando cada vez mais espaço no decorrer dos anos pelos vários benefícios que tem proporcionado aos seus usuários. O objetivo deste estudo foi realizar a manipulação dos dados altimétricos com a finalidade de facilitar as práticas conservacionistas do solo e da água em sistema de plantio direto. Para isso realizou-se a coleta de pontos de altimetria em uma área com 46 hectares, cultivada em sistema de plantio direto, localizada no município de São Miguel das Missões, RS. Foram coletados pontos de altimetria a partir de três métodos. O primeiro método consistiu da coleta dos pontos a partir de mapa de execução da aplicação em três operações agrícolas diferentes. O segundo método foi a partir de um aplicativo específico para a coleta de dados altimétricos, que faz parte de um conjunto de tecnologia embarcada, em três operações agrícolas; e o terceiro método de coleta de dados altimétricos foi a partir de imagem de satélite georreferenciada, com resolução espacial de 30 metros. Posteriormente, os dados foram submetidos a análises geoestatísticas, onde foi utilizado o semivariograma pelo método da verossimilhança. Os pontos coletados em todos métodos e práticas agrícolas apresentaram melhor ajuste para o modelo Gaussiano. No entanto, os dados coletados a partir de imagens de satélite para criação de linhas de direcionamento para piloto automático pode comprometer a eficiência deste serviço, uma vez que as coletas são realizadas com uma resolução muito baixa, e uma elevada distância entre o paralelismo, fazendo com que haja distorções e não identificação de micro relevos dentro da área de coleta, podendo mascará-los. Pelo ajuste semivariográfico, todos os métodos são passíveis de serem utilizados para o planejamento estratégico da automatização de algumas práticas como: projeto de linhas de direcionamento automático para máquinas agrícolas próximo do nível criados em SIGs para semeadura, colheita, pulverização, escarificação e subsolagem, tráfego controlado de máquinas agrícolas dentre outras, que não exigem alta precisão e acurácia dos dados altimétricos. Já para a criação de mapas de declividade e de acúmulo de água, vai depender de qual finalidade será utilizado como, por exemplo, para a identificação do acúmulo de água e posteriormente geração de drenos, é exigido alta acurácia e precisão da altimetria. Dessa forma, sugere-se a coleta com o método do aplicativo específico durante a execução da semeadura. As tecnologias são uma alternativa eficiente para utilização em operações agrícolas que visam a conservação do solo e da água, além de serem economicamente viáveis para este fim, por estarem disponíveis em quase todas as máquinas agrícolas modernas.

Palavras-chave: Geoestatísticas. Conservação do solo e da água. Mecanização agrícola.

ABSTRACT

PRECISION AGRICULTURE TECHNIQUES FOR OBTAINING ALTIMETRIC DATA FOR CONSERVATION PLANNING SOIL AND WATER

AUTHOR: Ropson Delavi Jendrzikowski

ADVISOR: Antonio Luis Santi

Precision farming has been gaining more and more space over the years for the many benefits it has provided to its users. The objective of this study was to perform the manipulation of the altimetric data with the purpose of facilitating the conservation practices of soil and water in no tillage system. For this, altimetry points were collected in an area of 46 hectares, cultivated under no-tillage system, located in the municipality of São Miguel das Missões, RS. Altimetry points were collected from three methods. The first method consisted of collecting the points from the implementation map of the application in three different agricultural operations. The second method was based on a specific application for altimetric data collection, which is part of a set of embedded technology, in three agricultural operations; and the third method of altimetric data collection was from georeferenced satellite image, with spatial resolution of 30 meters. Subsequently, the data were submitted to geostatistical analysis, where the semivariogram was used by the likelihood method. The points collected in all agricultural methods and practices presented better fit for the Gaussian model. However, data collected from satellite imagery to create routing lines for autopilot can compromise the efficiency of this service, since the collections are performed with a very low resolution, and a high distance between the parallelism, making with which there are distortions and no identification of micro reliefs within the collection area, being able to mask them. For the semivariographic adjustment, all methods can be used to strategically plan the automation of some practices such as: design of automatic routing lines for agricultural machinery close to the level created in SIGs for sowing, harvesting, spraying, scarification and subsoiling, traffic controlled agricultural machinery among others, which do not require high accuracy and accuracy of altimetric data. In order to create slope and water accumulation maps, it will depend on the purpose to be used, such as for the identification of water accumulation and subsequent generation of drains, high accuracy and accuracy of altimetry are required. Thus, it is suggested to collect with the specific application method during the execution of the sowing. Technologies are an efficient alternative for use in agricultural operations that aim at soil and water conservation and are economically viable for this purpose because they are available on almost all modern agricultural machinery

Keywords: Geostatistics, Soil conservation, Agricultural mechanization.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1- Modelo de escoamento mostrando o caminho da água em relação ao desnível do terreno. As caixas brancas representam equações de conservação (acumulação), as setas azuis representam fluxos de água no solo.....18
- Figura 2- Tecnologias de agricultura de precisão utilizadas por agroindústrias sucroalcooleiras no estado de São Paulo 25
- Figura 3- Funcionamento de um sistema RTK (Real Time Kinematic) 26
- Figura 4- Local de coleta dos pontos nas diferentes operações agrícolas..... 30
- Figura 5 - Semivariogramas experimentais referente à coleta de dados à partir de mapas obtidos durante a execução da colheita (A, B e C), pulverização (D, E e F) e semeadura (G, H e I) ajustados ao modelo esférico, exponencial e gaussiano..... 37
- Figura 6 - Semivariogramas experimentais referente à coleta de pontos com o uso de aplicativo específico embarcado em máquinas agrícolas durante execução da colheita (A, B e C), pulverização (D, E e F) e semeadura (G, H e I) ajustados ao modelo esférico, exponencial e gaussiano..... 38
- Figura 7 - Semivariogramas experimentais referente à coleta de pontos com SRTM 30m e Topodata, dados ajustados ao modelo esférico, exponencial e gaussiano..... 39
- Figura 8 - Mapa de direcionamento da água no solo. Linhas amarelas indicam o sentido de escoamento da água. Os pontos em azul indicam as partes do terreno com maior tendência de acumulo de água. Cotas em cinza indicam a cada um metro de desnível e as vermelhas a cada cinco metros de desnível..... 41

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1- Análise geoestatística dos dados de altimetria coletados nos diferentes operações agrícolas: (A) Coleta dos dados à partir de mapas obtidos durante a execução da semeadura, pulverização e colheita e (B) pontos coletados com o uso de aplicativo específico embarcado em máquinas agrícolas durante execução da semeadura, pulverização e colheita e (C) pontos coletados através de imagens de satélite STRM 30m e Topodata 35
- Tabela 2- Estatística descritiva dos dados de altimetria coletados nos diferentes operações agrícolas: (A) Coleta dos dados à partir de mapas obtidos durante a execução da semeadura, pulverização e colheita, (B) pontos coletados com o uso de aplicativo específico embarcado em máquinas agrícolas durante execução da semeadura, pulverização e colheita e (C) pontos coletados através de imagens de satélite STRM 30m e Topodata..... 40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AP - Agricultura de precisão

SIG - Sistema de informações geográficas

GIS - Geographic Information Systems

SPD - Sistema Plantio Direto

GPS - Global Positioning System

GNSS - Global Navigation Satellite Systems

RTK - Real Time Kinematic

UHF - Ultra High Frequency

DGPS - Differential Global Positioning System

MDE - Modelo Digital de Elevação

SRTM - Shuttle Radar Topography Mission

GSW - World Geodetic system

QME - Quadrado médio do erro

RQME - Raiz quadrada média do erro

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	14
1.1	OBJETIVOS	15
1.1.1	Objetivo Geral	15
1.1.2	Objetivos Específicos	15
2.	REVISÃO DE LITERATURA	15
3.1	PLANTIO DIRETO NA PALHA	15
3.2	ESCOAMENTO SUPERFICIAL DA ÁGUA NO SOLO	17
3.3	PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS DO SOLO	20
3.4	AGRICULTURA DE PRECISÃO	23
3.5	TECNOLOGIAS DISPONÍVEIS EM MÁQUINAS AGRÍCOLAS	25
4	MATERIAL E MÉTODOS	29
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
5.1	COLETA DOS PONTOS ALTIMÉTRICOS E ANÁLISES GEOESTATÍSTICAS	34
5.2	ANÁLISE DESCRITIVA DOS DADOS	40
5.3	UTILIZAÇÃO DA TECNOLOGIA EMBARCADA E IMAGENS DE SATÉLITES PARA PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS	42
6	CONCLUSÃO	45
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46

1. INTRODUÇÃO

A agricultura de precisão (AP) desde o seu surgimento teve como princípio a adoção de técnicas que permitissem o conhecimento detalhado de atributos, tanto do solo, quanto das plantas, e que por fim, associados às intervenções localizadas resultassem em aumento da produtividade e em redução dos custos de produção, principalmente aqueles relacionados ao uso de fertilizantes.

Muito se houve falar em conservar o solo e reter água, porém poucos casos são efetivados e conduzidos de maneira correta. Fatores que ano após ano são vilões no quesito conservar, a exemplo das excessivas precipitações pluviais que estabelecem um verdadeiro caos nas áreas de cultivo que utilizam o sistema de plantio direto na palha em áreas de alta porcentagem de declividade que, geralmente, visam a eficiência operacional das práticas agrícolas, e acabam por cometer equívocos ao não atribuir a devida dimensão ao fato. Os trabalhos de conservação e gestão bem conduzidos demonstram sucesso durante a execução, porém existem vários descuidos nas tentativas que, às vezes, acabam agravando os problemas.

O tráfego de máquinas e implementos agrícolas durante a realização das atividades agrícolas está interferindo diretamente no grau e na estrutura do solo, causando sérias alterações dos atributos físicos e hídricos (UNGER & CASSEL, 1991). Estes fatores afetam o movimento e a capacidade de infiltração de água e interferem nas propriedades físicas do solo, os quais influenciam nos fatores naturais, que incluem precipitação, umidade e temperatura do solo (CECILIO, 2002). A modificação provocada na estrutura do solo devido à falta da conservação ocasiona graves interferências nas camadas superficiais e subsuperficiais, reduzindo a capacidade de infiltração e provocando fluxos superficiais, que destroem o que geralmente demoram anos para serem compostos (LLANILLO et al., 2013).

O escoamento superficial da água no solo ocorre onde as estruturas do solo estão sem conservação adequada, desta forma estão sujeitos ao escoamento das partículas do solo, transportando nutrientes, defensivos agrícolas até os rios (MERTEN; MINELLA, 2013). O deflúvio superficial responsável pela erosão hídrica é o processo conhecido pela relação das características do solo, que são de extrema importância para um manejo eficaz de solo e água nos cultivos agrícolas (REICHARDT, 1996). Para as áreas com práticas de plantio direto as taxas de infiltração de água no solo são maiores que nas áreas do sistema convencional (GOMEZ et al., 2009).

Para coletar dados de altimetria do terreno a tecnologia embarcada em máquinas agrícolas e as imagens de satélites georreferenciadas, com o auxílio de *softwares* de Sistemas de Informação Geográficos (SIG), para manipulação dos dados altimétricos, podem ser interessantes, levando em consideração a finalidade da automatização de práticas e operações agrícolas, com foco em conservação do solo e da água em sistemas de plantio direto.

No caso de áreas de cultivo, cujo relevo é em coxilhas, o uso de mapa de projeção de linhas de direcionamento para piloto automático para as operações de semeadura, pulverização, descompactação do solo, terraceamento e colheita em nível pode ser importante visando a conservação do solo e da água. Por isso,

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo deste estudo foi avaliar dados altimétricos obtidos durante operações agrícolas e imagens via satélite para o planejamento conservacionista do solo e da água em sistema plantio direto.

1.1.2 Objetivos Específicos

Comparar diferentes métodos e momento de obtenção de dados altimétricos para elaboração de curvas de retenção e escoamento de água na lavoura.

Realizar um planejamento conservacionista de precisão baseado em dados altimétricos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 PLANTIO DIRETO NA PALHA

O sistema plantio direto (SPD) é aquele que envolve processos conservacionistas do solo, por meio de práticas que visam a conservação e a manutenção das características físicas, químicas e biológicas do solo, como o não revolvimento do mesmo, rotação de culturas e o uso de culturas de cobertura para formação de palhada (TELLES, 2015).

O rendimento das principais culturas de interesse agrícola é influenciado pelo sistema de preparo do solo, um exemplo são as culturas de milho e soja que possuem maiores produções em SPD comparados ao sistema de cultivo convencional, com aração

e gradagem (RUSU, 2014). No mundo, cerca de 111 milhões de hectares é cultivado em SPD, destas 70% estão no Brasil e na Argentina (LANSER, 2012), e vem aumentando em comparação ao sistema convencional (LLANILLO et al., 2013); gerando maior valorização do preço das terras (TELLES, 2015).

Grandes erosões que aconteceram no Sul do Brasil na década de 1970, levaram os agricultores a adequações em suas práticas de preparo do solo, sendo elas o cultivo mínimo e o SPD, este último iniciado no Paraná em 1972 e difundiu-se rapidamente para o restante do país (LLANILLO et al., 2013), e é conhecido como um dos maiores avanços na agricultura brasileira (LOPES et al., 2009).

Com a implantação do SPD, programas governamentais foram sendo criados, a fim de amenizar os impactos causados pela erosão, começou-se o uso dos terraços e cultivos em nível, adubação verde, plantas de cobertura, conservação de fontes de água, entre outros (LLANILLO et al., 2013). Resultados de pesquisas enfatizam a importância da manutenção da cobertura do solo e o plantio em nível como práticas essenciais ao controle da erosão em áreas agrícolas (PUGLIESI et al., 2011).

O SPD na palha foi proposto com a finalidade de diminuir o impacto das atividades agrícolas, neste sistema, os resíduos vegetais das culturas antecessoras são mantidos na superfície do solo, e servem como proteção contra o processo de erosão (TELLES, 2015). Segundo Lanser (2012), esse sistema é uma das formas mais econômicas de proteger e melhorar o solo, pois proporciona naturalmente o aumento da atividade biológica, aumentando sua fertilidade natural, diminuindo a necessidade de fertilizantes, além de aumentar o rendimento das culturas e a diminuição da erosão.

A implantação do SPD proporcionou vantagens produtivas, econômicas e sustentáveis, como exemplo a diminuição de perdas de solo por erosão hídrica (TELLES, 2015), maior capacidade de infiltração e retenção de água, redução de perdas causadas por estiagem (FREITAS et al., 2014), dentre outras. Estudos demonstraram que após cinco anos de implantação de SPD o carbono orgânico do solo aumenta e ultrapassa o conteúdo inicial, a compactação do solo diminui até a camada de 14 centímetros, e após 14 anos de SPD melhoram-se as condições necessárias para a retenção de água no solo (REICHERT et al., 2016).

O sistema de preparo do solo influencia no acúmulo de água, sendo que o plantio direto promove o aumento de matéria orgânica que atua na textura e estrutura do solo, indispensáveis para o aumento do conteúdo de água em profundidade de 0-30 cm em comparação com o preparo convencional (RUSU, 2014).

O aumento da atividade orgânica no solo, proporcionado pela maior quantidade de material orgânico, permitem a formação de agregados que são indispensáveis para a maior infiltração de água no solo permitindo que mais água atinja a zona da raiz, reduzindo o escoamento superficial e, conseqüentemente, a erosão (RUSU, 2014). As perdas de solo por erosão são menores em SPD que em cultivo mínimo, por exemplo, (PUGLIESI et al., 2011). Plantio direto e cultivo mínimo, com plantas de cobertura de solo continua a ser a melhor opção de gerenciamento para manter a qualidade biológica do solo (SWANEPOEL et al., 2015).

Além disso, o SPD quando realizado de maneira correta proporciona condições estruturais adequadas para maiores infiltrações de água, como a redução da densidade do solo em subsuperfície e aumento da estabilidade de agregados na camada superficial do solo. Outra contribuição é que a cobertura vegetal proporciona a manutenção de temperaturas menores, e maior umidade, fatores que contribuem para alavancar as produtividades das culturas agrícolas (COSTA et al., 2003).

3.2 ESCOAMENTO SUPERFICIAL DA ÁGUA NO SOLO

O escoamento superficial é o principal fator causador de erosão, processo que altera as características, químicas, físicas e biológicas do solo (LAL, 2006), reduzindo o potencial produtivo destes. A lâmina de água que provoca o escoamento superficial ocasiona o processo de desagregação das partículas do solo condicionados pelo impacto das gotas de chuva, que ao escorrer leva junto as partículas desagregadas, causando intensas erosões. Este efeito é menos observado em solos planos, pois estas áreas apresentam, com menor inclinação, maior capacidade de armazenamento de água (APPELS; BOGAART; VAN DER ZEE, 2016). Em terras agrícolas inclinadas, o escoamento superficial representa uma ameaça crítica para o desenvolvimento agrícola sustentável, além de ser considerada um grave problema ambiental e uma fonte de sedimentos para os rios (WANG et al., 2017).

A seriedade da erosão em terras agrícolas inclinadas protagonizadas pelas práticas de plantio, causando sérias conseqüências, como o declínio da fertilidade do solo, diminuição de produtividade e, conseqüentemente, redução do crescimento econômico agrícola (LOTZ; OPP; HE, 2017; SWANEPOEL et al., 2015). Em solos sem cobertura a perda total de solo correspondente à declividade de 20% é em média, 1,37 vezes maior

que a correspondente à declividade de 10%. Na declividade de 10% a perda total de solo correspondente ao tratamento sem cobertura do solo foi, em média, quatro vezes maior que a correspondente ao tratamento com cobertura (FERREIRA et al., 2010).

O escoamento superficial, causador da erosão, é influenciado, principalmente, pela topografia do terreno, pelas práticas de manejo agrícola e pela erodibilidade do solo ou resistência a erosão (VOLK, 2006), segue o caminho do terreno, conforme ilustra a Figura 1.

Figura 1: Modelo de escoamento mostrando o caminho da água em relação ao desnível do terreno. As caixas brancas representam equações de conservação (acumulação) e as setas azuis representam fluxos.



Fonte: (Adaptado de WÖRMAN et al., 2010).

A topografia do terreno influencia a quantidade e a velocidade da enxurrada, pois é composta pelos elementos: comprimento, inclinação e formato ou curvatura do declive, que podem aumentar a velocidade de escoamento da água e carregando maior quantidade de partículas de solo (BERTONI, 1959; WISCHMEIER; SMITH, 1978). Com o aumento da inclinação, mais água é alocada para o fluxo intermédio (LOTZ; OPP; HE, 2017). Uma das formas de aumentar a resistência ao escoamento superficial e, conseqüentemente, a erosão, é a adoção de um manejo que leve em conta a proteção da superfície do solo, através de plantas de cobertura que em função dos seus resíduos culturais remanescentes, agem contra o impacto direto das gotas da chuva, servindo como obstáculo físico ao livre

escoamento do fluxo superficial de água; práticas de preparo do solo e de semeadura das culturas e as práticas conservacionistas de suporte, como terraços agrícolas, também são componentes de manejo que determinam a resistência de um solo à erosão (WISCHMEIER; SMITH, 1978).

A presença de restos culturais na superfície do solo, independentemente do manejo adotado, proporciona redução de perda de solo (CAMARA; KLEIN, 2005). O escoamento é afetado pela presença de resíduos vegetais na superfície do solo, pela diminuição da velocidade e aumento da resistência e da altura da lâmina do escoamento (CASSOL et al., 2004; LOTZ; OPP; HE, 2017), e pelo manejo solo (CAMARA; KLEIN, 2005). A presença de resíduos no solo favorece a redução da desagregação do solo e aumenta a resistência devido ao aumento das forças viscosas e gravitacionais (CASSOL et al., 2004; LOTZ; OPP; HE, 2017). Para Abrantes et al. (2015), a cobertura morta é uma prática de manejo imprescindível para o controle do escoamento superficial.

Em trabalho realizado por Costa et al., (2013), na Bacia dos Igarapés, no estado do Pará, com a finalidade de avaliar a influência das mudanças de uso da terra e do manejo do solo sobre as taxas de escoamento superficial, concluiu que, em áreas com maior porcentagem de cobertura morta ocorreram menor escoamento superficial, sendo que o escoamento superficial diminuiu a medida que se aumentou a porcentagem de material orgânico. No mesmo sentido, Perazzoli et al., (2013) demonstram que o tipo de uso, ocupação e cobertura do solo, interferem nos processos hidrológicos no solo.

Em estudo realizado com o objetivo de avaliar o efeito de diferentes condições de superfície na umidade do solo e geração de escoamento superficial, Chen et al. (2007), verificaram que a vegetação foi essencial para a conservação da umidade e na redução do escoamento superficial. O aumento do escoamento superficial aumenta, à medida que aumenta a compactação do solo, sendo este último um tema de crescente importância pelo fato de intensificação de atividades agrícolas mecanizadas, que acarretam na modificação das partículas de solo, causando efeitos negativos por causarem maior escoamento superficial da água, resistência ao crescimento radicular, redução da aeração e da disponibilidade de água e nutrientes (GOEDERT; SCHERMACK, 2002).

Muitos estudos tem avaliado a eficiência da descompactação do solo, com o intuito de aumentar as condições necessárias para a maior eficiência de infiltração de água no solo e eliminação de erosão por meio do aumento da porosidade, redução da densidade e elevação da estabilidade de seus agregados (CAMARA; KLEIN, 2005). Os mesmos autores citam que a escarificação esporádica em solos sob SPD proporciona condições do

solo mais favoráveis ao desenvolvimento das plantas, especificamente pela redução na resistência mecânica à penetração e pela não redução do teor de matéria orgânica. Para Reichert et al., (2009) a escarificação esporádica do solo reduz os efeitos imediatos da compactação, no entanto, em um argissolo arenoso, seu efeito desaparece um ano após a escarificação.

3.3 PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS DO SOLO

A interferência humana ao longo do tempo tem causado graves prejuízos, em termos de desmatamento e uso inadequado do solo que acelerou dramaticamente a erosão do solo (KATEB et al., 2013). Segundo Dyonisio (2010), as práticas conservacionistas são importantes para a conservação do solo e aumento da produtividade agrícola. Para Ferreira et al. (2010), a erosão é a principal causa da diminuição da fertilidade do solo e da produção agrícola. Desta maneira, o planejamento de práticas conservacionistas baseados em estudos científicos são importantes para a redução da erosão do solo (KATEB et al., 2013), pois o uso indevido do solo, culturas mal manejadas, a falta de práticas conservacionistas ou seu uso errôneo causam grande erosões do solo (VOLK, 2006).

Segundo Merten; Minella, (2013), o Brasil precisa conciliar o crescimento econômico com a preservação dos recursos naturais. Os mesmos autores destacam o que um plano de conservação deve incluir:

[...] demarcação de áreas que atendam aos requisitos do Código Florestal Brasileiro e apresentação de um plano de conservação para áreas cultivadas, uso de culturas que cobrem o solo, mantendo floresta e pastagem, controle do escoamento superficial, uso reduzido de agroquímicos, através de práticas integradas para o controle de insetos, doenças e plantas invasoras [...] (MERTEN; MINELLA, 2013).

Em áreas com declive acentuado do terreno, medidas que visam à minimização de processos erosivos que resultam na degradação da qualidade do solo devem ser efetuadas (SANTOS; SALCEDO; CANDEIAS, 2002). A inclinação do terreno tem um impacto no escoamento e na perda de solo, pois quanto maior a inclinação, maior o

potencial de escoamento e perda de solo, além disso, as terras cultivadas geram maior escoamento e maior erosão (KATEB et al., 2013). Em contraponto, a inclinação da área agriculturável dificilmente pode ser alterada pela atividade humana em grande escala, no entanto, a atividade humana pode adicionar barreiras nesta área, como por exemplo a cobertura vegetal, sendo uma das estratégias de mitigação, se aplicadas de forma mais eficaz (LOTZ; OPP; HE, 2017). Quanto maior a porcentagem de cobertura morta utilizada no solo, maior é o controle da erosão e menor a perda de água (FERREIRA et al., 2010).

Outra forma mecânica de controlar a perda de água e solo pelos processos erosivos é a utilização de terraços. O terraceamento consiste na construção de uma estrutura transversal ao sentido do maior declive do terreno (EMBRAPA, 2016). Em 1959, o terraceamento foi definido como a prática conservacionista mais eficiente para controlar a erosão em terras agriculturáveis (BERTONI, 1959). Com a chegada do plantio direto e a sua difusão, estabeleceu-se, de forma equivocada que este tipo de sistema não necessita terraceamento, pelo fato de reter a enxurrada, no entanto, em sistema plantio direto isso é ainda mais relevante (EMBRAPA, 2016).

A eficiência do uso dos terraços segundo Magalhães (2013), depende do dimensionamento correto do espaço entre terraços, da lâmina de escoamento superficial, da sua seção transversal e da uniformidade construtiva, para isso o mesmo autor recomenda:

[...] Posicionar corretamente as extremidades de terraços em relação à crista para aumentar a segurança contra rupturas; utilizar a lâmina máxima do escoamento superficial no planejamento conservacionista; combinar a uniformidade da crista na máxima cota com o posicionamento adequado do terraço a uma seção transversal corretamente dimensionada; inspecionar, avaliar e adequar sistematicamente dimensões de campo, às teorias prescritas para reduzir os desvios operacionais na construção de terraços e usar máquina adequada às condições do ambiente local, associada ao operador experiente na atividade para propiciar a construção de terraços mais eficientes e econômicos (MAGALHÃES, 2013).

A melhor prática recomendada para a gestão de solos para agricultura em terrenos inclinados é o uso de terraços, no entanto, esta técnica não é aceita pelos agricultores

devido ao alto investimento inicial, sendo inviável economicamente (LENKA et al., 2017). Os mesmos autores sugerem a utilização de bioterraços para a alteração do gradiente de inclinação, pois é uma prática eficiente e econômica para conservar água e nutrientes no solo.

As operações agrícolas de plantio, por exemplo, poderiam reduzir o escoamento e aumentam a infiltração de água, no entanto, estes contornos não seguem de forma correta o nível do terreno, pois, com a complexidade das formas do terreno e irregularidades das superfícies, torna-se mais difícil decidir intuitivamente na orientação das passadas de máquinas e culturas que resultarão em custos econômicos e ambientais mínimos (SPEKKEN et al., 2016), no entanto, é uma prática que não tem sido utilizada pelos agricultores (LIU; HUANG, 2013)

A introdução de sistemas baseados em posicionamento por satélite para máquinas agrícolas foram desenvolvidas e comercializadas para facilitar métodos de planejamento operacional (HAMEED et al., 2010). O cultivo do contorno pode aliviar significativamente a perda de solo, diminuir o fluxo de água durante as chuvas, aliviar a erosão do solo e aumentar a infiltração da água no solo (LIU; HUANG, 2013).

A eficiência do cultivo em linha depende da inclinação do terreno e da intensidade das chuvas, por exemplo, em um ano úmido, o cultivo do contorno reduziu significativamente a erosão em declives de 3 a 10°, mas não nas encostas mais íngremes. No entanto, em um ano mais seco, o cultivo do contorno foi mais efetivo em encostas mais íngremes (LIU; HUANG, 2013).

Segundo Stevens et al. (2009), o cultivo em contorno causa aumento na rugosidade da superfície do solo perpendicular a inclinação, causando redução do escoamento superficial em comparação com o cultivo de declive ascendente e descendente, pois reduz a velocidade da água e proporciona maior tempo para a infiltração da água no solo. No entanto, esta prática aumenta os custos da lavoura, principalmente com tempo adicional gasto no campo, o que aumentará os custos operacionais em comparação com o cultivo tradicional, o que faz com que muitos agricultores sejam contrários a adoção desta prática.

O planejamento do cultivo em contorno pode reduzir os gastos atribuídos ao tempo de condução e na faixa de 10-15%, e o consumo de combustível também pode ser reduzido com a utilização de orientações anteriormente definidas (HAMEED, 2014), estas práticas são possíveis graças às tecnologias disponíveis nas máquinas agrícolas e serão tratados no item “Tecnologias disponíveis em máquinas agrícolas”. Carvalho et al.

(2009) descobriram que a prática de cultivo em contorno reduziu a perda de solo devido à erosão da água em 68,7% em comparação com as linhas de culturas estabelecidas na direção da inclinação. Verificou-se também que, o padrão de cultivo teve maior impacto na conservação do que o tipo de cobertura.

3.4 AGRICULTURA DE PRECISÃO

O termo agricultura (AP) de precisão atualmente é bem amplo. Os primórdios da AP segundo a literatura surgiram em 1929 nos Estados Unidos da América, Goering (1993) cita que naquela época aparece a necessidade de amostragens de solo utilizando o processo de malhas de 100 por 100 m para determinar, em campo, a necessidade de aplicação diferencial de calcário.

Antes mesmo da Revolução Industrial, alguns agricultores que visavam maximizar a produção física e econômica das culturas, aplicando doses diferentes de insumos, levando em consideração a produtividade e os tipos de solo, pois já naquela época vislumbravam benefícios da aplicação diferenciada de esterco com o tipo de solo (KELLOGG, 1957).

Avanços rápidos em sensoriamento remoto para a AP ocorreram nos últimos 25 anos, as mudanças e descobertas relacionadas a AP são evidentes e enormes. O início foi mais focado no solo e progrediu em vários estágios como o manejo de culturas específicas do local com base em zonas de amostragem e gerenciamento de redes; o desafio para o futuro é desenvolver abordagens de AP que possam fornecer gerenciamento personalizado de insumos agrícolas para plantas individuais (MULLA, 2013).

A agricultura de precisão segundo BERNARDI et al., (2015):

[...] AP é um conjunto de ferramentas úteis para o entendimento da variabilidade espacial e fornecimento de informações para intervenção nas práticas de manejo. A AP pode auxiliar na melhoria da eficiência de uso de nutrientes [...].

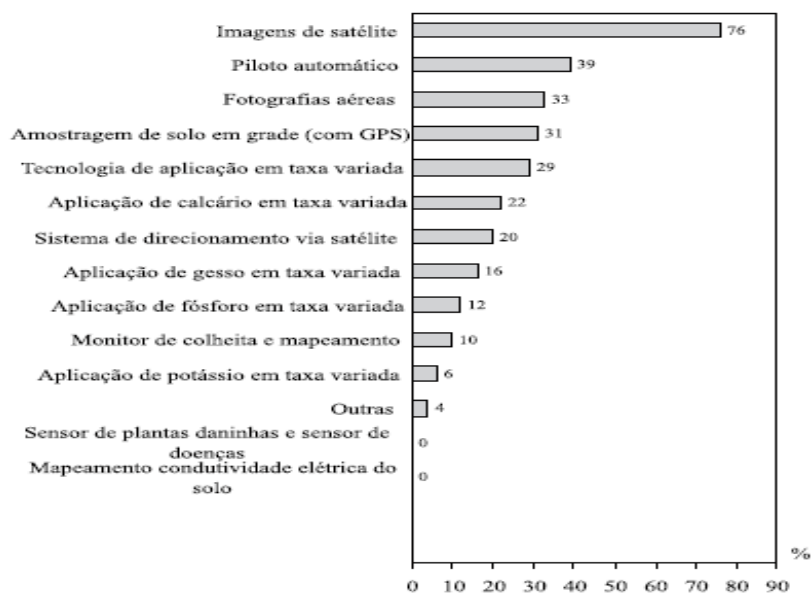
Atualmente, o termo AP é conceituado como uma ferramenta de gerenciamento agrícola, que é capaz de medir e responder às variações relacionadas ao campo e culturas, com a finalidade de precisão na tomada de decisão visando à maximização da produção,

a partir dos recursos disponíveis (DUHAN et al., 2017). Nos Estados Unidos, cerca de mais de um terço dos agricultores já praticaram AP (MULLA, 2013).

Segundo Mulla, (2013) no futuro, muito provavelmente as fazendas serão gerenciadas com uma resolução espacial e temporal muito maior do que as abordagens atuais da AP, cada vez com maior uso das tecnologias.

No Brasil, ainda são escassos trabalhos que quantifiquem o uso de tecnologias na agricultura. Nos Estados Unidos foram realizados trabalhos desta natureza (CIRANI; MORAES, 2010), onde estes autores estudaram o uso das tecnologias de AP pelas agroindústrias sucroalcooleiras no estado de São Paulo, o resultado encontra-se na figura 2. O resultado da pesquisa destes autores revelou que as tecnologias com as menores taxas de adoção são: sensores e mapeamento da condutividade elétrica do solo. Os autores discutem ainda sobre o aumento das tecnologias de AP, sendo que serão indispensáveis nos próximos anos para a busca por maiores produtividades e menos agressão ao ambiente.

Figura 2 - Tecnologias de AP utilizadas por agroindústrias sucroalcooleiras no estado de São Paulo.



Fonte: (CIRANI; MORAES, 2010).

Ainda, são necessários mais estudos voltados às tecnologias utilizadas na AP em todos os segmentos agrícolas, além de identificar os gargalos e falhas técnicas aos produtores, pois constitui uma ferramenta importante para melhorar ainda mais tais tecnologias.

A implementação de ferramentas de AP como auxílio ao manejo da fertilidade do solo das práticas de manejo, poderá melhorar o retorno econômico dos sistemas agropecuários (BERNARDI et al., 2015).

3.5 TECNOLOGIAS DISPONÍVEIS EM MÁQUINAS AGRÍCOLAS

Dados coletados a partir de imagens de satélite são muito utilizados; estes estão disponíveis gratuitamente para os usuários, e em uma grande área; o problema é que estes dados ainda apresentam algumas limitações e por isso são desafiadores no quesito resolução temporal e espacial, pois apresentam se baixas em relação a outros métodos de coletas de dados altimétricos, sendo pouco confiáveis (SANDERS; MASRI, 2016). Dados coletados com auxílio de robôs, ou seja, aqueles que são coletados utilizando-se de auxílios como veículos não tripulados e/ou tripulados estão cada vez mais sendo utilizados e oferecem uma resolução espacial mais detalhada do que as medições por satélite (SANDERS; MASRI, 2016).

A coleta de dados por meio de tecnologias de sensoriamento remoto está se tornando cada vez mais comum para monitorar problemas na interface da água e da agricultura. Essas aplicações abrangem satélites, robôs e medidores de alta resolução, entre outras aplicações, e ajudaram a gerenciar recursos hídricos para operações agrícolas (SANDERS; MASRI, 2016).

O aumento da produção de alimentos na agricultura moderna tem incrementado o uso de máquinas e equipamentos agrícolas, bem como processos com alta eficiência e efetividade, possíveis graças aos avanços obtidos no processamento computacional. Desta forma, a mecanização agrícola representa o segundo componente no custo de produção (SICHONANY et al., 2011).

O surgimento do GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*), representado pelo seu componente mais ativo, que é o GPS (*Global Positioning System*) nos últimos 20 anos, têm sido disponibilizadas tecnologias inovadoras para navegação e posicionamento, como o caso de direcionamento de conjuntos mecanizados agrícolas (OLIVEIRA; MOLIN, 2011). No Brasil, a utilização de GNSS foi utilizada na aviação para aplicações agrícolas, com sistemas de orientação por direcionamento auxiliar (barra de luzes), substituindo os sistemas de orientação visual com bandeiras (MOLIN, 1998). A técnica

evoluiu, e hoje é conceituada por piloto automático, que utiliza sinal de GNSS com opções de correção diferencial (OLIVEIRA; MOLIN, 2011).

Segundo Seeber, (1993), as principais características do GNSS são: integridade, disponibilidade e fornecimento de um serviço contínuo aos usuários; se baseia em satélites artificiais que determinam uma posição em relação a um sistema de referência, de um ponto qualquer, próximo ou na superfície terrestre, bem como posicionamento em diversos níveis de precisão. Para melhor uso de GNSS no campo, é fundamental que se tenha um método de posicionamento preciso, com correção em tempo real e que proporcione a devida acurácia; O sistema RTK (*Real Time Kinematic*), obtém o sinal de correção a partir de uma base fixa, que corrige o posicionamento dado pelo sinal dos satélites e repassa ao receptor móvel (veículos agrícolas) via comunicação de rádio em ondas UHF (*Ultra High Frequency*), garantindo uma acurácia estática no posicionamento em torno de 0,025 m (BERGTOLD; RAPER; SCHWAB, 2009).

A definição é realizada na prática pela criação de uma linha de referência definindo o espaçamento entre as passadas, a partir disso o *software* do equipamento replica infinitas passadas à direita e à esquerda da linha de referência, as correções do posicionamento do veículo vão sendo feitas por atuadores elétricos e eletro hidráulicos, interligados a sensores que direcionam a onde o veículo agrícola deve passar, o viés é que as manobras de cabeceira, são feitas manualmente (OLIVEIRA; MOLIN, 2011).

Figura 3 -: Funcionamento de um sistema RTK (*Real Time Kinematic*).



Fonte: John Deere, 2018.

Oliveira & Molin (2011) citam os principais fatores responsáveis pela adoção dos sistemas de piloto automático, dentre eles, a diminuição do estresse do operador e o aumento do número de horas trabalhadas, uma vez que é possível aumentar a jornada de trabalho pela facilidade de operação noturna com esse sistema.

As operações agrícolas mecanizadas são mais fáceis em áreas maiores, planas e retangulares, ou seja, sem obstáculos, pois há maior otimização do tempo e do maquinário ocorrendo menor consumo de combustível, menor erosão do solo, no entanto, sabe-se que grande parcela das áreas agrícolas não estão em tais condições, dificultando as decisões para orientação do paralelismo entre passadas de máquinas e culturas que resultarão em custos econômicos e ambientais mínimos (SPEKKEN et al., 2016).

Superfícies irregulares são mais propícias a erosão do solo em campos cultiváveis, mesmo que durante as operações de cultivo seguindo o contorno do terreno reduzam o escoamento e aumentam a infiltração de água, esses contornos quase nunca são paralelos, enquanto as operações da máquina sempre são (SPEKKEN et al., 2016).

O planejamento das linhas de direcionamento das máquinas agrícolas é possível graças ao desenvolvimento de métodos de geoinformação para gerar antecipadamente um grande número de opções diferentes de linhas para as passadas das máquinas (HAMEED et al., 2010; OKSANEN; VISALA, 2009). O planejamento das linhas de passadas das máquinas agrícolas está se desenvolvendo graças às duas tendências (SPEKKEN et al., 2016): adoção crescente da tecnologia de direção automática para máquinas agrícolas (SPEKKEN et al., 2016), que atualmente permite que uma rota geográfica completa desenvolvida em computadores seja inserida na interface de orientação de uma máquina e a adoção da prática de engenharia de tráfego controlado onde o movimento da máquina em campo é limitado às mesmas linhas de passadas ao longo dos anos (SPEKKEN et al., 2016).

Outra forma de utilização da tecnologia é para a utilização do tráfego controlado de máquinas agrícolas na área, com a finalidade de organizar e facilitar o trânsito de todas as máquinas e equipamentos envolvidos no processo produtivo em uma área comercial, restringindo as linhas de tráfego das máquinas e equipamentos em locais específicos (LAGUË; AGNEW; KHELIFI, 2003). O tráfego de máquinas e equipamentos pode ser realizado quando o proprietário dispuser de máquinas equipadas com o sistema de piloto automático e sistemas precisos de localização geográfica (BOCHTIS; VOUGIOUKAS, 2008).

O sistema de tráfego controlado deve ser realizado em etapas de acordo com os seguintes procedimentos: O primeiro passo é a geração do Modelo Digital de Elevação (MDE), para isso, utiliza-se o *Differential Global Positioning System* (DGPS), que permite redução do erro em até 10 metros no uso do GPS com sinal aberto, para erro de até 0,10 metros com o uso do DGPS. Além disso, para garantir maior precisão garantindo

maior estabilidade e posicionamento exato no tempo torna-se importante a utilização do sinal georreferenciado RTK sendo que após a coleta dos pontos é possível criar linhas virtuais de tráfegos de máquinas (KROULÍK et al., 2011).

O segundo passo seria o ajuste das bitolas, pois esta prática permite melhoria nas condições de tráfego quando o solo apresentar maior umidade, traz eficiência de tração e melhora a relação solo-máquina (GIRARDELLO et al., 2017). Depois, através da utilização do piloto automático corrige-se o posicionamento do veículo de forma automática por atuadores no volante, também conhecidos como piloto automáticos de ação mecânica ou roda de atuação acoplável ao volante (OLIVEIRA; MOLIN, 2011), ou ainda através de um sistema que atua através de uma válvula eletro-hidráulica instalada no sistema de controle das rodas direcionais, este sistema garante maior precisão nas operações que o sistema mecânico, sendo capaz de controlar a máquina de forma autônoma (KROULÍK et al., 2011).

Segundo Alakukku et al. (2003), é difícil tirar conclusões claras sobre as vantagens do tráfego controlado para evitar a compactação do subsolo. Sob condições agrícolas normais, as vantagens do seu uso são eficiência de tração aprimorada, menor profundidade em solos úmidos ou suaves. A eficiência computacional é um dos principais requisitos para aplicações de orientação do maquinário (BACKMAN; PIIRAINEN; OKSANEN, 2015).

Em estudo conduzido com o objetivo de avaliar as modificações impostas pelo tráfego controlado de máquinas na resistência do solo a penetração, no desenvolvimento do sistema radicular e na produtividade da soja (GIRARDELLO et al., 2017) concluíram que o tráfego controlado diminuiu a compactação na área, sendo que ficou restrita as linhas do trânsito da máquina, este fato favoreceu o crescimento das plantas nas partes livres do trânsito do maquinário.

Outra tecnologia bastante difundida na agricultura de precisão é a utilização de semeadoras a taxa variável de semente, estas operam com alta precisão, muitas vezes com acurácia acima do limite preconizado. Os sistemas de controle utilizados para o controle de semeadura de precisão são conjuntos de componentes eletrônicos, mecânicos e hidráulicos responsáveis pelo acionamento dos dosadores ou órgãos ativos de máquinas à taxa variável, para que executem as prescrições correspondentes (MACHADO et al., 2015).

Os avanços das tecnologias, como o caso dos computadores, sensores, sistemas globais de posicionamento por satélite e dispositivos de sensoriamento remoto para medir

condições ambientais altamente localizadas que auxiliam na identificação das culturas, se estão crescendo com a máxima eficiência ou identificando com precisão a natureza e a localização dos problemas (DUHAN et al., 2017). A agricultura de precisão necessita cada vez mais ferramentas que detectam, por exemplo, doenças em plantas como o caso das tecnologias biotecnológicas e as ferramentas de diagnóstico rápidas e precisas com o uso de nanomateriais têm um futuro excelente e promissor para as práticas agrícolas modernas, como a entrega precisa de nutrientes e fertilizantes e o diagnóstico de doenças em estágio inicial (DUHAN et al., 2017).

4 MATERIAL E MÉTODOS

A coleta dos dados foi realizada em uma área agrícola comercial com 46 hectares, cultivada em sistema de plantio direto, localizada no interior de São Miguel da Missões - RS, Brasil, entre as coordenadas geográficas 28°41'28.23"S e 54°22'32.72"O com 262,8 m acima do nível do mar.

O solo da área pertence a Unidade de Mapeamento Santo Ângelo, e é caracterizado como Latossolo Vermelho distroférico típico, são solos profundos, bem drenados, de coloração vermelha escura, argilosos com mais de 60% de argila. As maiores limitações destes solos são fertilidade natural e o risco de erosão e escassez de água no verão, sendo de extrema importância práticas de conservação do solo e de água, através de terraceamento ou outras práticas conservacionistas (EMBRAPA, 2013).

Figura 4. Local de coleta dos pontos nas diferentes operações agrícolas



Fonte: Google Earth, 2017.

Ao todo foram utilizados três métodos de coleta de dados:

- O primeiro método para coleta de dados altimétricos consiste em extrair pontos a partir do mapa de execução da aplicação em três operações agrícolas diferentes, sendo elas: semeadura, pulverização e colheita.

- O segundo método foi a partir de um aplicativo específico para a coleta de dados altimétricos, também em três operações agrícolas, o mesmo que faz parte de um conjunto de tecnologia embarcada, que é composto por um receptor de sinal GNSS equipado com sistema de correção de sinal RTK, um monitor onde são inseridas e salvas as configurações para o aplicativo e para a realização das operações. Os dois métodos de coleta acontecem ao mesmo tempo da execução de cada operação agrícola.

- O terceiro método de coleta de dados altimétricos foi a partir de imagem de satélite georreferenciada, de dois satélites diferentes com resolução espacial de 30 m.

As três operações agrícolas diferentes foram realizadas na safra agrícola 2016/2017. Estas operações foram: semeadura, pulverização e colheita (Figura 05). Em cada uma das operações foram utilizados o mesmo conjunto de tecnologia embarcada.

Figura 05- Operações agrícolas de semeadura (A), pulverização (B) e colheita (C) utilizadas para a coleta de dados altimétricos.



A primeira operação agrícola para coleta dos dados foi durante a semeadura da cultura da soja, realizada por uma semeadora da marca Stara, modelo absoluta 27, com 27 linhas de semeadura de 0,45 metros de espaçamento entre as mesmas, totalizando

12,15 metros de largura, tracionada por um trator agrícola da marca John Deere, modelo 7225J operando numa velocidade média de 5 km/h. A segunda operação agrícola foi durante a aplicação de fungicida na cultura do trigo com pulverizador autopropelido da marca John Deere, modelo 4730 equipado com barra de pulverização de 30 m de largura, com uma velocidade média de trabalho de 17 km/h. Para a terceira operação agrícola de coleta dos dados altimétricos, foi durante a colheita da cultura da soja realizada com uma colhedora da marca John Deere, modelo S670 com plataforma da mesma marca, modelo Hydra Flex 630 com 10,6 metros (35 pés) de largura, uma velocidade média de 5 km/h.

Em todas as operações onde foram coletados os dados altimétricos as máquinas agrícolas estavam equipadas com piloto automático para direcionamento assistido, por um monitor, responsável pela geração e gravação dos dados coletados, receptor de posicionamento global, equipado com o sistema RTK, com correção em tempo real do seu posicionamento.

As configurações de cada conjunto agrícola mecanizado foram aplicadas conforme recomendações do próprio fabricante, cada operação agrícola tem tamanhos e dimensões de máquinas e implementos diferentes, isso faz com que o paralelismo entre passadas e as larguras variam conforme a dimensão do implemento para cada operação, sendo para semeadura, pulverização e colheita as larguras foram 12,15 m, 30,0 m e 10,6 metros, respectivamente, em linhas paralelas de leste a oeste.

Os dados foram exportados do monitor para um pen drive, importados em um *software* SIG, e exportados em uma planilha de Excel (.CSV). Inicialmente, foi feito um estudo exploratório, com uma análise descritiva e gráfica dos dados distribuídos espacialmente para identificação das características de distribuição dos dados.

Os dados de imagem de satélite, oriundos da missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) com resolução espacial de 30 m, foram adquiridos em formato geotiff com unidade de altitude em metros em sistema de coordenadas geográficas, Datum horizontal GSW 84 (*World Geodetic system 1984*) e Datum vertical EGM96 (*Earth Gravitational Model 1996*). A seguir, foram gerados os mosaicos correspondentes aos MDEs, SRTM-4 (USGS, 2010) e TOPODATA (INPE, 2010), considerando as imagens adjacentes de cada modelo correspondentes à área de estudo. Para que se possa haver comparação quantitativa dos MDEs as imagens de cada modelo foram redimensionadas para uma resolução espacial comum. Os MDEs do SRTM e TOPODATA foram reamostrados artificialmente para a resolução espacial 30 m por interpolação (método do vizinho mais próximo).

Posteriormente, os dados foram submetidos a análises geoestatísticas, onde foi utilizado o semivariograma pelo método da verossimilhança, utilizando o programa R (R CORE TEAM, 2017). O semivariograma permite o cálculo dos parâmetros envolvidos no modelo, a distância da dependência espacial (A), que é o alcance máximo da dependência espacial, indicando que, a partir dessa distância, termina a dependência entre os casos estudados; o efeito pepita (C0), que é o valor da semivariância da distância zero, que representa a variabilidade para escalas menores que a distância de amostragem; e altura (C) que é a distância entre o efeito pepita e o patamar, intervalo esse no qual o semivariograma cresce, havendo dependência espacial. O patamar representa a altura na qual o semivariograma se estabiliza, aproximando-se da variabilidade total dos valores amostrados (OPROMOLLA; DALBEN; CARDIM, 2006).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 COLETA DA ALTIMETRIA E ANÁLISES GEOESTATÍSTICAS

Cada operação agrícola realizada gerou um grande número de pontos, o que proporciona maior precisão aos resultados. Nas coletas realizadas a partir dos mapas de execução de cada operação agrícola o número de pontos foi 30.858 para a operação de colheita, 12.187 para a operação de pulverização, 21.316 para a operação de semeadura. Para os dados coletados a partir do aplicativo específico embarcado para a operação de colheita foram 41.917 pontos, para a operação de pulverização 4.391 pontos e para a operação de semeadura 35.431 pontos. Para a coleta a partir da imagem georreferenciada dos dados de satélite SRTM e Topodata foram 547 e 549 pontos, respectivamente.

O semivariograma é a principal ferramenta para estudar dependência espacial em geoestatística (SEIDEL; OLIVEIRA, 2013). Dentre os modelos de semivariogramas mais utilizados para estes fim destacam-se os modelos Esférico, Exponencial e Gaussiano, estes possuem quatro parâmetros: o alcance, o patamar, o efeito pepita e a contribuição (SEIDEL; OLIVEIRA, 2013). No presente trabalho, os modelos exponencial e Esférico apresentaram efeito pepita puro, desta forma o modelo que mais representa o comportamento dos dados, em todas as formas de coleta foi o modelo Gaussiano (Figuras 5, 6 e 7).

Figura 5 - Semivariogramas experimentais referentes à coleta de dados a partir de mapas obtidos durante a execução da colheita (A, B e C), pulverização (D, E e F) e semeadura (G, H e I), ajustados ao modelo Esférico, Exponencial e Gaussiano.

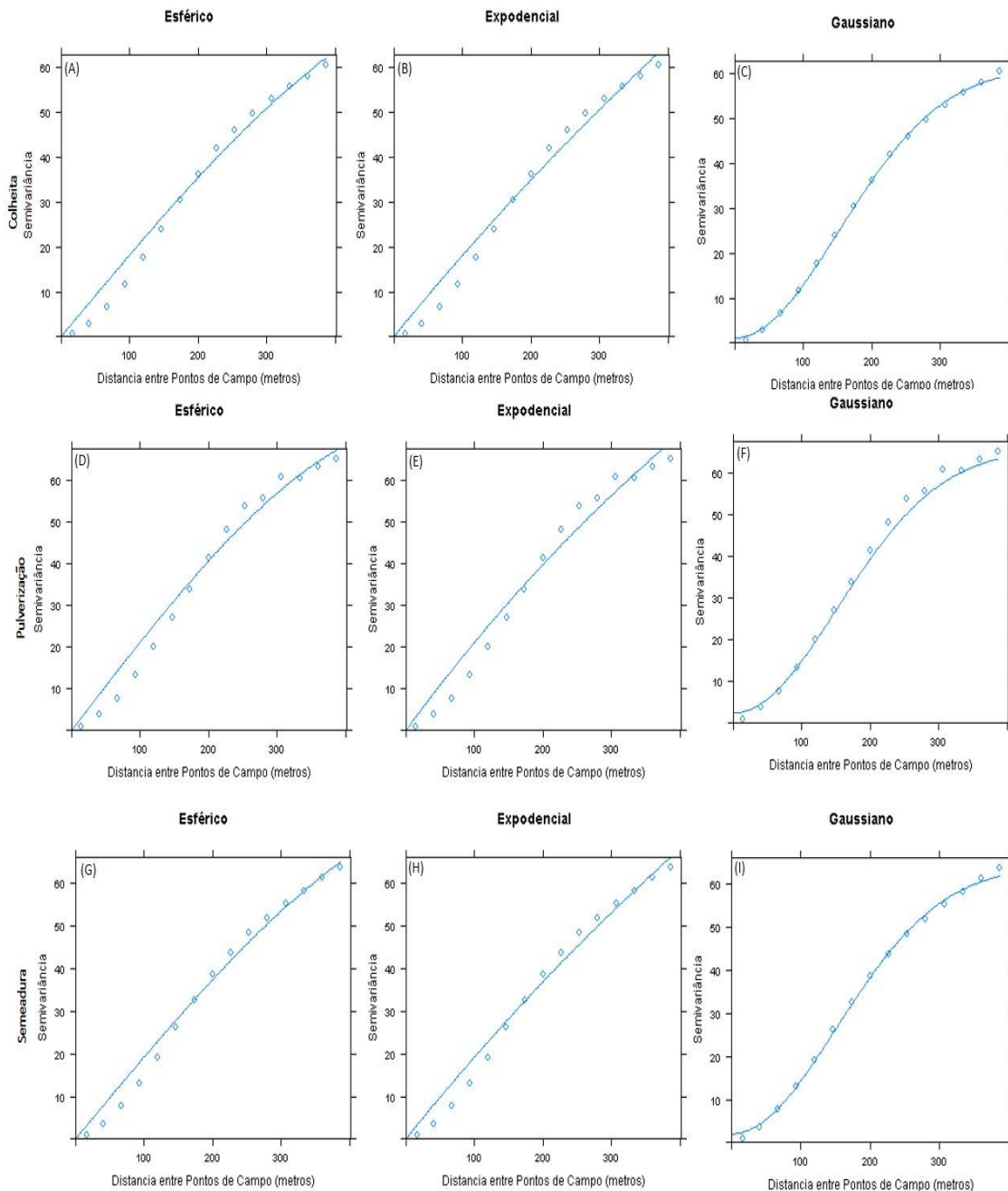


Figura 6: Semivariogramas experimentais referentes à coleta de pontos com o uso de aplicativo específico embarcado em máquinas agrícolas, durante a colheita (A, B e C), pulverização (D, E e F) e semeadura (G, H e I), ajustados ao modelo Esférico, Exponencial e Gaussiano.

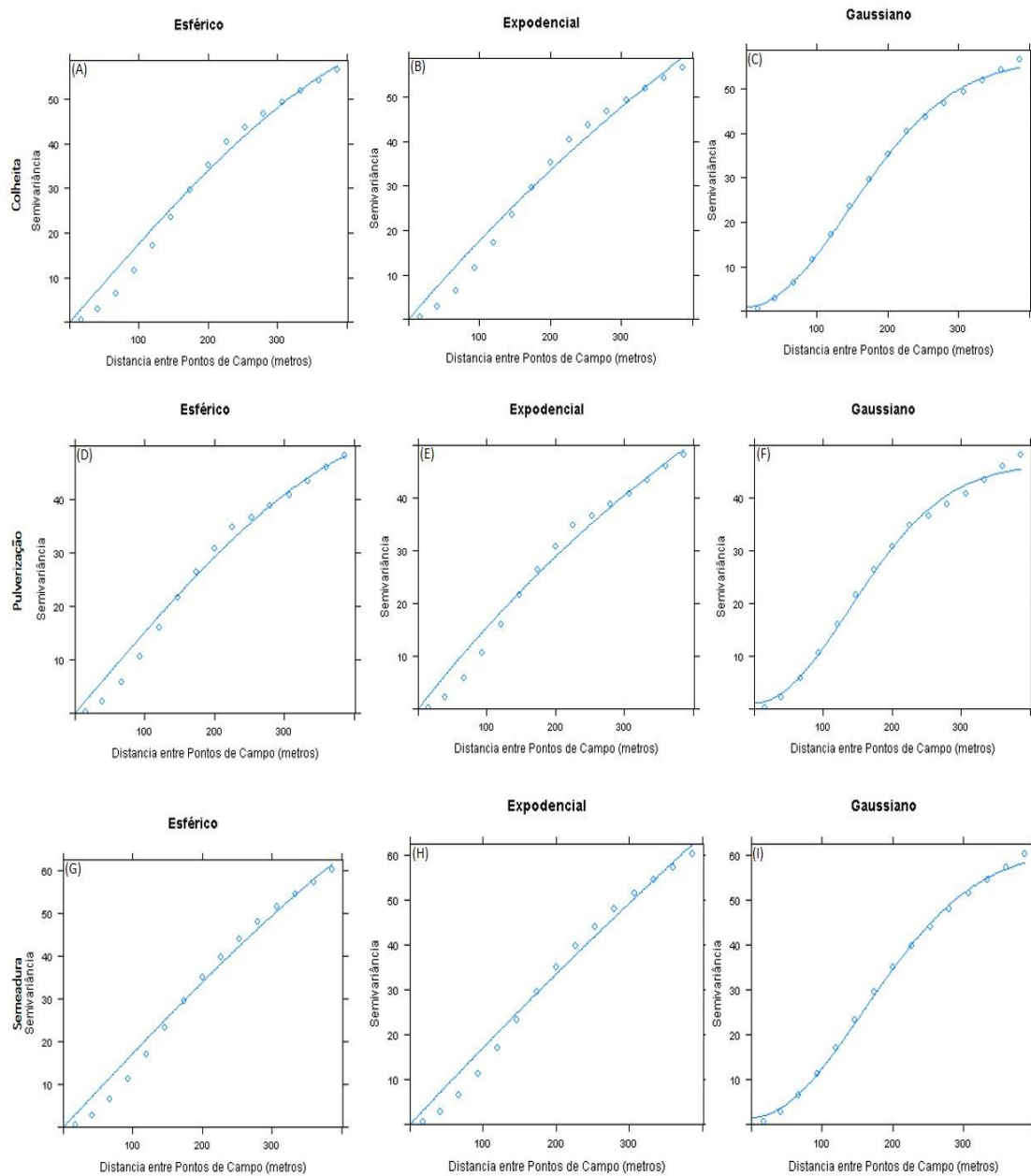
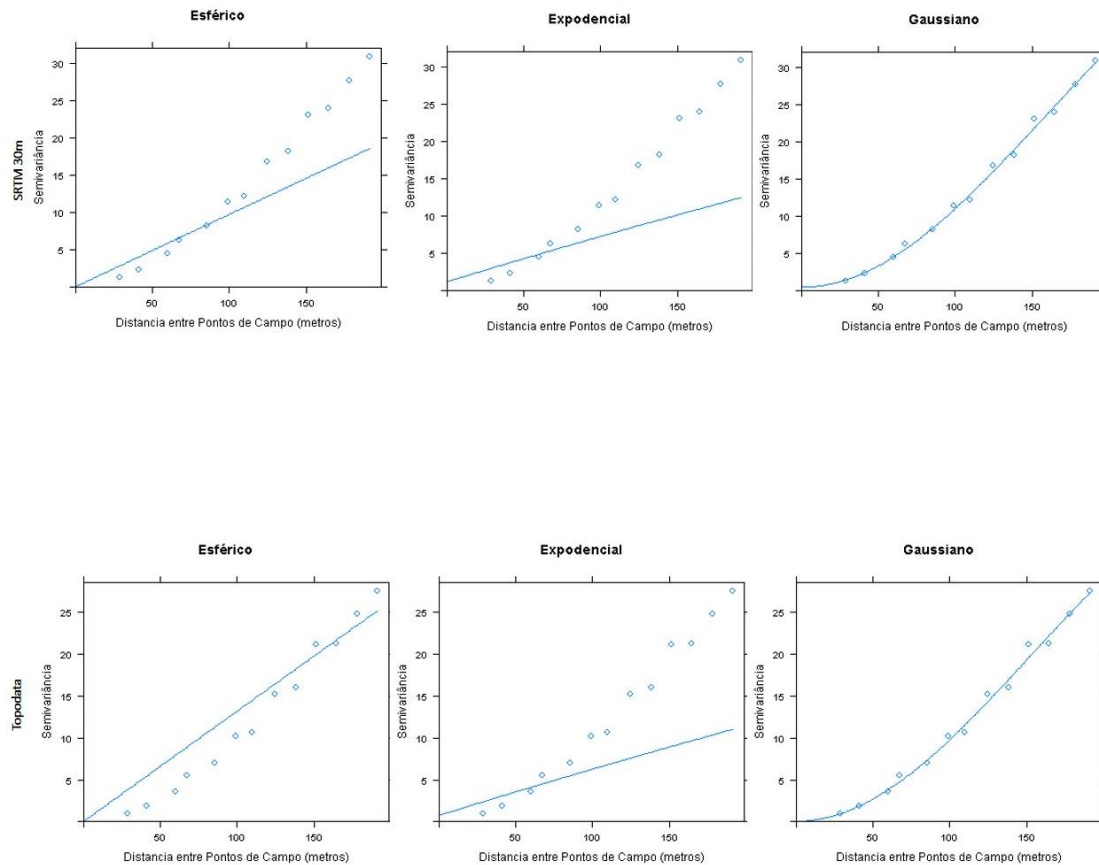


Figura 7 - Semivariogramas experimentais referentes à coleta de pontos com SRTM 30 m e TOPODATA, dados ajustados ao modelo Esférico, Exponencial e Gaussiano.



A interpretação dos semivariogramas foi realizada pelos parâmetros do modelo, onde o alcance (a) é a distância dentre a qual as amostras apresentam-se correlacionadas espacialmente; o efeito pepita (C_0) representa a descontinuidade do semivariograma, no sentido de que, à medida que h tende a zero, $\gamma(h)$ tende a um valor positivo C_0 , contribuição (C_1) é a diferença entre o patamar e o efeito pepita, e caracteriza a dependência espacial de processos estocásticos contínuos; a contribuição é a variância estruturada que é devida à estrutura espacial do fenômeno em estudo; o patamar ($C = C_0 + C_1$) seria a variância total do dados (ABREU et al., 2003; SEIDEL; OLIVEIRA, 2013).

Os modelos ajustados para as coletas de dados altimétricos, apresentaram valores semelhantes dos parâmetros, no entanto, o modelo Gaussiano apresentou o valor de efeito pepita maior comparado aos demais modelos em todas as formas de coleta de dados, da mesma forma os valores de dependência espacial foram maiores no modelo Gaussiano (Tabela 1).

Tabela 1 - Análise geoestatística dos dados de altimetria coletados nas diferentes operações agrícolas: (A) Coleta dos dados a partir de mapas obtidos durante a execução da semeadura, pulverização e colheita e (B) pontos coletados com o uso de aplicativo específico embarcado em máquinas agrícolas durante execução da semeadura, pulverização e colheita e (C) pontos coletados através de imagens de satélite STRM 30 m e Topodata.

Tipo de coleta dos pontos	Modelo*	Efeito Pepita	Patamar	Contribuição	Dependência espacial	Grau de Aleatoriedade	Alcance	QME	RQME	R²
Mapa de Elevação^(A)										
Semeadura	Exp	0	240,37	240,37	0	0	1200,49	0,12	0,35	0,97
	Sph	0	79,41	79,41	0	0	615,02	0,12	0,35	0,96
	Gau	2,04	62,19	60,15	3,17	0,03	213,8	0,14	0,38	0,98
Pulverização	Exp	0	185,54	185,54	0	0	828,13	0,02	0,15	0,96
	Sph	0	73,53	73,53	0	0	515,6	0,02	0,15	0,97
	Gau	2,45	63,37	60,91	3,73	0,04	214,1	0,31	0,56	0,98
Colheita	Exp	0	261,51	261,51	0	0	1396,78	0	0,02	0,97
	Sph	0	77,48	77,48	0	0	634,68	0	0,02	0,96
	Gau	1,11	60,32	59,21	1,8	0,02	214,5	0,01	0,09	0,98
Aplicativo específico embarcado^(B)										
Semeadura	Exp	0	420,21	420,21	0	0	2404,64	0	0,01	0,97
	Sph	0	90,33	90,33	0	0	781,3	0	0,01	0,96
	Gau	1,66	59,66	58	2,71	0,03	223,19	0,01	0,09	0,98
Pulverização	Exp	0	114,81	114,81	0	0	688,36	0	0,02	0,96
	Sph	0	52,31	52,31	0	0	507,94	0	0,02	0,97
	Gau	1,23	45,22	43,99	2,65	0,03	195,6	0,02	0,15	0,98
Colheita	Exp	0	171,25	171,25	0	0	919,6	0	0,02	0,96
	Sph	0	65,33	65,33	0	0	551,46	0	0,02	0,97
	Gau	0,99	55,27	54,28	1,77	0,02	204,91	0,01	0,08	0,98
Imagem via satélite^(C)										
SRTM 30m	Exp	1,24	91,48	90,24	0,01	0,01	1455,77	0,04	0,21	0,96
	Sph	0,07	126,90	126,83	0,00	0,00	1957,38	0,03	0,16	0,97
	Gau	0,52	58,04	57,52	0,01	0,01	223,28	0,02	0,15	0,98
Topodata	Exp	0,75	88,44	87,69	0,01	0,01	1546,10	0,36	0,60	0,97
	Sph	0,00	173,89	0,00	0,00	0,00	1972,47	0,28	0,53	0,96
	Gau	0,06	49,75	49,69	0,00	0,00	214,20	0,38	0,62	0,98

Abreu et al., (2003), estudaram a dependência espacial de diferentes tipos de solo em profundidade e observaram maior variabilidade com o aumento na profundidade no perfil do solo. Os modelos exponencial e esférico apresentaram valores de dependência espacial de zero, ou seja, não apresentam dependência espacial, e apresentam efeito pepita puro, totalmente aleatório (CAMARGO, 2001). Nos casos com efeito pepita puro, onde a dependência espacial não pode ser quantificada, a informação que melhor representa esses dados é a média (SOUZA et al., 2014). Quando os parâmetros do modelo apresentaram similaridades entre eles, o maior grau de dependência espacial serviu para definir qual modelo apresentou o melhor ajuste (DALLACORT et al., 2012).

O maior alcance foi observado para o modelo exponencial em todas as formas de coleta, este parâmetro representa a distância dentro da qual as amostras apresentam-se correlacionadas espacialmente (Tabela 1); a estatística clássica assume que a variação das características do solo dentro das unidades amostrais não são correlacionadas, ou seja, os pontos localizados em uma área cujo raio seja o alcance, são mais semelhantes entre si, do que os separados por distâncias maiores (CARVALHO; SILVEIRA; VIEIRA, 2002). Menores valores de alcance foram estimados para o modelo Gaussiano. Pode-se observar, na Tabela 1, que os semivariogramas dos dados das operações agrícolas de coleta que apresentaram alcance superior e não foram ajustados como o modelo gaussiano. Resultado semelhante foi encontrado por Amaral (2010), onde as variáveis que apresentaram menor alcance foram ajustadas com o mesmo modelo.

Os valores do parâmetro patamar foram menores para o modelo Gaussiano em todas as formas de coleta de dados, este parâmetro seria a variância total dos dados, inferindo menor variância para o modelo Gaussiano. Da mesma forma, analisando o modelo Gaussiano isoladamente, pode-se observar menores valores de patamar para as coletas realizadas com o auxílio do aplicativo específico embarcado nas máquinas agrícolas e pelas imagens de satélite (Tabela 1). A relação entre o efeito pepita e o patamar, que caracteriza a estrutura de dependência espacial, diminuiu com a redução do número de pontos e o aumento do intervalo de amostragem do solo (SOUZA et al., 2014).

De acordo com as diferentes formas de coleta dos dados altimétricos, pode-se perceber menor efeito pepita na coleta com o auxílio do aplicativo específico embarcado e nas imagens de satélite, ou seja, nas operações de coletas em que se utilizou esta tecnologia houveram menores erros de amostragem, ou seja, variabilidade de pequena escala (CAMARGO, 2001). Os resultados em cada operação agrícola mostram menor efeito pepita e menor dependência espacial nos dados coletados durante a operação da

semeadura com aplicativo específico, nesta operação também é possível observar menores valores de grau de aleatoriedade, quadrado médio do resíduo (QME) e menor soma de quadrados do resíduo, da mesma forma que os dados de satélite.

Como a maioria dos resultados apresentaram valores semelhantes, com destaque para o método de coleta com o aplicativo específico durante a operação agrícola de semeadura que, provavelmente, pode ser utilizado para criação de projetos de automatização das práticas de conservação do solo e água que exigem maior nível de precisão, este método teve melhor ajuste por ter menor distância entre as passadas o paralelismo, uma constante velocidade da semeadura e baixa velocidade também proporcionou maior qualidade de coleta. Nesta mesma, destaca-se a baixa oscilação da altura do receptor de sinal GNSS, e que nas outras operações agrícolas de colheita e pulverização acontece a o oposto.

5.2 ANÁLISE DESCRITIVA DOS DADOS

Na tabela 2 estão os valores da estatística descritiva dos dados obtidos após a Krigagen do mapa interpolado pelo modelo Gaussiano, ou seja, a análise após o processamento dos dados. Pela análise descritiva dos dados é possível observar que não há maiores diferenças entre os métodos de coletas utilizados, sendo possível sua utilização para projetos e planejamentos de práticas conservacionistas de solo e água. No entanto, deve-se atentar para a verdadeira realidade das referidas operações com ênfase ao tipo de sinal que está sendo utilizado para a coleta dos pontos. Bruti (2014) analisou métodos de coleta para geração de linhas de direcionamento para piloto automático, automatizando as taipas para irrigação de inundação em lavoura de arroz. Ao sobrepor os mapas confeccionados a partir dos pontos coletados nos métodos de operação de colheita e semeadura, observou-se que o método de coleta durante a semeadura apresentou melhor resultado.

Tabela 2 - Estatística descritiva dos dados de altimetria coletados nas diferentes operações agrícolas: (A) Coleta dos dados a partir de mapas obtidos durante a execução da semeadura, pulverização e colheita, (B) pontos coletados com o uso de aplicativo específico embarcado em máquinas agrícolas durante execução da semeadura, pulverização e colheita e (C) pontos coletados através de imagens de satélite STRM 30 m e TOPODATA.

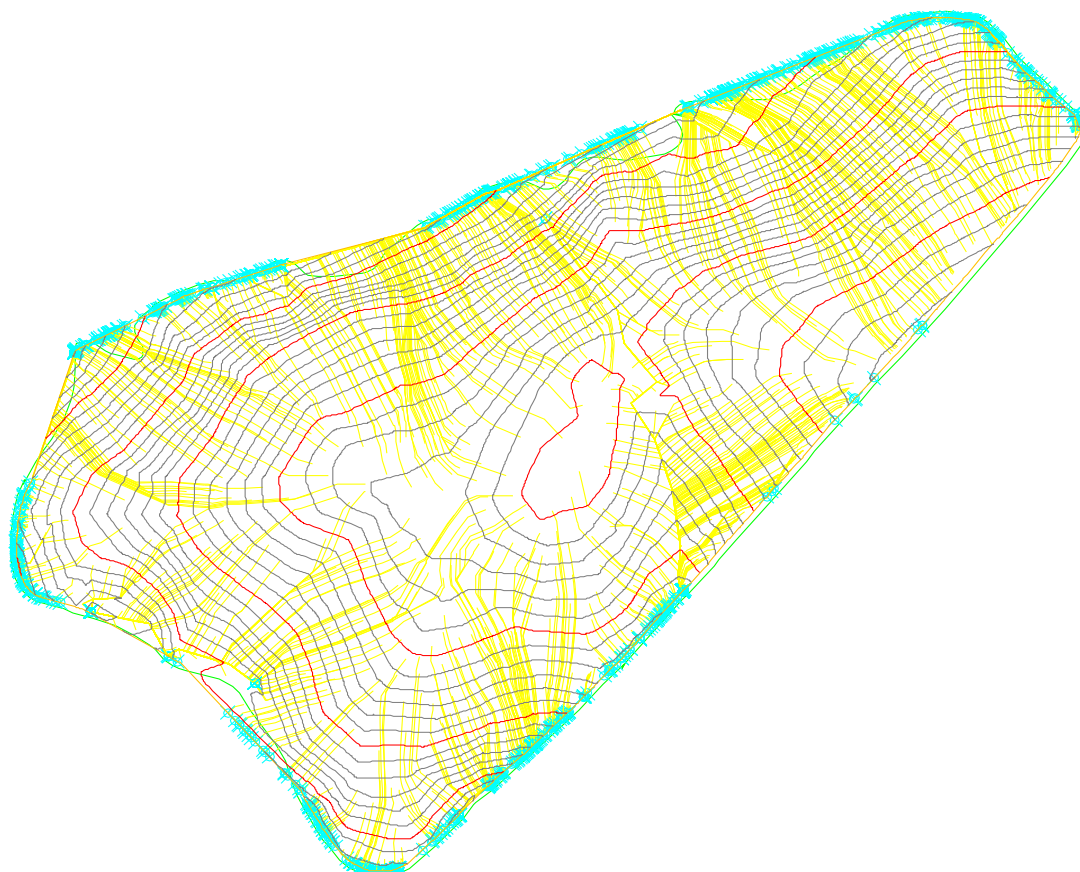
Método de coleta	n	Min	Max	μ	EPA	σ^2	σ	Mediana	Assimetria	Curtose	CV
Mapa de elevação (A)											
Colheita	18428	242,52	278,68	262,24	0,057	60,36	7,76	252,6	-0,07	-8047,1	2,96
Pulverização	18428	243,96	278,83	262,55	0,058	64,1	8	263	-0,06	-7786	3,04
Semeadura	18428	242,09	279,41	262,81	0,058	62,04	7,87	263,17	-0,09	-8065,3	3
Aplicativo específico embarcado (B)											
Colheita	18428	242,85	278,68	262,3	0,056	59,02	7,68	262,6	-0,03	-7895,9	2,92
Pulverização	18428	242,27	278,23	262,92	0,054	54,98	7,41	263,16	-0,04	-7849	2,82
Semeadura	18428	247,8	279,34	262,89	0,057	60,49	7,77	263,26	-0,08	-8048,7	2,95
Imagem georreferenciada via satélite (C)											
SRTM30m	18428	245,02	278,85	262,31	0,056	58,15	7,62	262,6	-0,05	-7858,4	2,95
Topodata	18428	246,87	279,77	263,48	0,055	56,62	7,52	263,8	-0,03	-7832,9	2,85

n= número de pontos coletados, μ =média; EPA= erro padrão; σ^2 =variância; σ =desvio padrão; CV= coeficiente de variação.

5.3 UTILIZAÇÃO DA TECNOLOGIA EMBARCADA E IMAGENS DE SATÉLITES PARA PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS

Após a realização da coleta dos dados altimétricos, a elaboração de mapas de curvas de nível podem ser realizados com base no histórico da área. A definição de qual será o manejo adotado na área deve ser planejado anteriormente juntamente com o produtor e com auxílio de uma equipe técnica qualificada. Todo o planejamento deve ser realizado baseando-se no histórico da área. É importante que o manejo seja realizado de forma que ocorra maior infiltração de água no solo, para isso um mapa de direcionamento da água é importante (Figura 8), pois desta forma pode-se definir o manejo que será adotado com a finalidade de otimizar o uso da água disponível na lavoura.

Figura 8 - Mapa de direcionamento da água no solo. Linhas amarelas indicam o sentido de escoamento da água. Os pontos em azul indicam as partes do terreno com maior tendência de acúmulo de água. Cotas em cinza indicam a cada um metro de desnível e as vermelhas a cada cinco metros de desnível.



A infiltração de água no solo é influenciada por vários fatores, como plantio e cobertura vegetal, rugosidade superficial, porosidade e densidade do solo, quantidade de carbono orgânico, tamanho e nível de estabilidade dos agregados e teor de água no solo (LLANILLO et al., 2013); sendo que operações agrícolas que tornam os solos mais propícios as características que não facilitam a infiltração de água no solo são frequentemente adotadas por produtores que não visam a conservação do solo e da água. A partir das tecnologias que vem sendo cada vez mais implementadas, práticas de conservação podem ser facilitadas, uma vez que a mecanização agrícola, com *softwares* integrados, auxiliam nestes processos. As tecnologias de sensoriamento remoto transformaram o gerenciamento de água, especialmente em termos de avaliação da disponibilidade de recursos hídricos e da qualidade da água (SANDERS; MASRI, 2016).

Operações agrícolas tornam-se mais fáceis onde as áreas são planas, sem obstáculos para o trajeto das máquinas, o tempo gasto com manobras é menor e diminui problemas com manutenção, além de haver menores problemas com erosão da água (SPEKKEN et al., 2016). No Rio Grande do Sul há muitas áreas onde o relevo torna as práticas conservacionistas dificultadas o que faz com que muitos produtores acabem realizando as operações agrícolas de maneira incorreta, evitando o maior número de manobras. Para isso, as tecnologias embarcadas em máquinas agrícolas podem facilitar este tipo de manejo, tornando estas práticas viáveis do ponto de vista econômico e temporal.

Planejar a execução das práticas agrícolas vem se tornando cada vez mais frequente nos dias atuais. Vários sistemas baseados em posicionamento por satélite para máquinas agrícolas foram e estão em constante desenvolvimento, estes ajudam na orientação de linhas de direcionamento para operações agrícolas (HAMEED, et al., 2010) muito úteis para o manejo do solo.

A tecnologia embarcada em máquinas agrícolas pode auxiliar na adoção de práticas conservacionistas do solo. As técnicas de coletas de dados altimétricos cada vez mais precisos permitem que projetos de plantio, pulverização entre outros sejam realizadas com o objetivo de criar maiores barreiras para o escoamento da água no solo.

Mesmo apresentando bom ajuste, os dados coletados a partir dos métodos de coleta com o aplicativo específico embarcado durante a colheita e pulverização não são de boa confiabilidade, pois os dados coletados por estes métodos nestas operações causam oscilações provocadas por: na colhedora a medida que o tanque graneleiro enche causa maior pressão dos pneus no solo, afundando-os, oscilando a altura. No pulverizador, ao esvaziar o tanque, diminui

o peso que muda a aderência dos pneus ao solo, além de a variação da suspensão colaborar e, uma maior velocidade comparada às outras operações. Interessante lembrar que as distâncias entre passadas durante a pulverização é maior de todas, e que pode não identificar os micro relevos que existem, também devemos analisar as condições de umidade no solo, pois quanto mais úmido maior a probabilidade de variação e oscilação de altura do pulverizador e da colhedora durante as operações devido à carga transportada.

O modelo com melhor ajuste de coleta realizada com o aplicativo específico durante a operação semeadura cria a possibilidade real da recomendação para geração de projetos em SIGs, pois nesta operação com solo friável não há afundamento dos pneus do trator no solo e o peso do trator é mais constante no decorrer da operação, sendo possível a criação de linhas de direcionamento automático para máquinas agrícolas de terraços, drenagem, irrigação por inundação, acúmulo de água por que exigem alta precisão e acurácia, como observado por Bruti (2014).

Os métodos de coleta aplicados na área agrícola do experimento, aliados à geoestatísticas mostram-se eficientes para a geração de vários projetos de linhas de direcionamento automático para máquinas agrícolas e possibilitam melhor uso dos recursos das tecnologias embarcadas disponíveis. Os ajustes semivariográficos permitem reduzir o erro significativamente, pois nas observações realizadas sem os ajustes temos uma grande possibilidade em afirmar que os dados altimétricos coletados com o aplicativo específico durante a operação de semeadura seria o mais preciso, pois o mesmo tem menos interferências físicas e externas do conjunto operacional. Sabemos que por sua vez que, mesmo utilizando os dados gerados a partir no mapa de execução da operação de semeadura teria os dados muito semelhantes ao do citado no início deste parágrafo. A inclusão de diferentes métodos de coleta permite chegarmos em várias possibilidades e para a mais variada gama de práticas conservadoras de água e solo sob diversos sistemas de produção agrícola.

Os dados coletados a partir de imagens de satélite apresentaram bom ajuste semivariográfico e o modelo Gaussiano ajustou os dados com boa precisão. No entanto, a utilização deste tipo de coleta para criação de linhas de direcionamento para piloto automático pode comprometer a eficiência deste serviço, uma vez que as coletas são realizadas com uma resolução muito baixa, e uma distância entre o paralelismo alta, fazendo com que haja distorções e não identificação de micro relevos dentro da área de coleta, podendo mascarar os resultados. Por este motivo, não se recomenda utilizá-los na criação de linhas de direcionamento que exigem alta precisão. Segundo (SCHNEIDER et al., 2018) , dados de satélite possuem

cobertura global e fornecem observações pontuais ao longo do terreno, no entanto fatores como terreno acidentado limitam a disponibilidade de dados ou aumentam o erro de observação.

Pelo ajuste semivariográfico, todos os métodos são possíveis de serem utilizados para o planejamento estratégico da automatização de algumas práticas como: projeto de linhas de direcionamento automático para máquinas agrícolas próximo do nível criados em SIGs para semeadura, colheita, pulverização, escarificação, descompactação, tráfego controlado de máquinas e entre outras, que não exigem alta precisão e acurácia dos dados altimétricos.

Já para a criação de mapas de declividade e de acúmulo de água, geração de drenos, é exigido alta acurácia e precisão da altimetria, seria indicado a coleta com o método do aplicativo específico durante a execução da semeadura, por demandar de maior precisão.

6 CONCLUSÃO

O método de coleta com uso do aplicativo específico na operação de semeadura é mais eficaz e recomendado para projetos que requerem maior precisão.

Os demais métodos de coleta de dados podem oferecer riscos de erros por apresentarem muitas interferências externas, como espaçamento entre passadas, paralelismo, oscilação de altitude por causa da massa da máquina, flutuação da suspensão, alta velocidade de trabalho, oscilação da flutuação dos pneus das máquinas e distância do ponto de correção do sinal RTK.

Há grande potencialidade para o planejamento conservacionista a partir de estratégias de agricultura de precisão como mapas altimétricos.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRANTES, J. R. C. B.; LIMA, J. L. M. P. DE; MONTENEGRO, A. A. A. Desempenho da modelagem cinemática do escoamento superficial para chuvas intermitentes em solos com cobertura morta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 2, p. 166–172, 2015.

ABREU, S. L. DE et al. Variabilidade espacial de propriedades físico-hídricas do sol, da produtividade e da qualidade de grãos de trigo em Argissolo Franco Arenoso sob plantio direto. **Ciência Rural**, v. 33, n. 2, p. 275–282, abr. 2003.

ALAKUKKU, L. et al. Prevention strategies for field traffic-induced subsoil compaction: a review. **Soil and Tillage Research**, v. 73, n. 1–2, p. 145–160, out. 2003.

AMARAL, L. DE P. **Geoestatística na caracterização do solo e da vegetação em Floresta Ombrófila Mista**. Dissertação ed. Guarapuava: [s.n.].

APPELS, W. M.; BOGAART, P. W.; VAN DER ZEE, S. E. A. T. M. Surface runoff in flat terrain: How field topography and runoff generating processes control hydrological connectivity. **Journal of Hydrology**, v. 534, p. 493–504, mar. 2016.

BACKMAN, J.; PIIRAINEN, P.; OKSANEN, T. Smooth turning path generation for agricultural vehicles in headlands. **Biosystems Engineering**, v. 139, p. 76–86, nov. 2015.

BERGTOLD, J. S.; RAPER, R. L.; SCHWAB, E. B. The economic benefit of improving the proximity of tillage and planting operations in cotton production with automatic steering. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 25, n. 2, p. 133–143, 2009.

BERNARDI, A. C. DE C. et al. Ferramentas De Agricultura De Precisão Como Auxílio Ao Manejo Da Fertilidade Do Solo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 32, n. 1/2, p. 211–227, 2015.

BERTONI, J. O espaçamento dos terraços em culturas anuais, determinado em função das perdas por erosão. **Bragantia**, v. 18, n. 10, p. 113–140, 1959.

BOCHTIS, D. D.; VOUGIOUKAS, S. G. Minimizing the non-working distance travelled by machines operating in a headland field pattern. **Biosystems Engineering**, v. 101, n. 1, p. 1-12, 2008.

BRUTI, M. A. Utilização do sistema John Deere - surface Water Pró e CR-Campeiro 7

para a obtenção de dados altimétricos para o manejo do arroz irrigado (*Oriza sativa*). Universidade Federal de Santa Maria. Mestrado (Agricultura de Precisão), UFSM, 2014.

CAMARA, R. K.; KLEIN, V. A. Escarificação em plantio direto como técnica de conservação do solo e da água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 5, p. 789–796, out. 2005.

CAMARGO, E. C. G. **Geoestatística: Fundamentos e aplicações**.

CARVALHO, D. F. DE et al. Características da chuva e perdas por erosão sob diferentes práticas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 1, p. 3–9, fev. 2009.

CARVALHO, J. R. P. DE; SILVEIRA, P. M. DA; VIEIRA, S. R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, DF**, v. 37, n. 8, p. 1151-1159, ago. 2002., n. 1, p. 1151–1159, 2002.

CASSOL, E. A. et al. Escoamento superficial e desagregação do solo em entressulcos em solo franco-argilo-arenoso com resíduos vegetais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 7, p. 685–690, jul. 2004.

CECILIO, R. A. Aplicação da equação de Green-Ampt na modelagem da infiltração de água em Latossolo Vermelho-Amarelo estratificado. Viçosa, 2002. **Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)** – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

CHEN, L. et al. The effect of land cover/vegetation on soil water dynamic in the hilly area of the loess plateau, China. **CATENA**, v. 70, n. 2, p. 200–208, jul. 2007.

CIRANI, C. B. S.; MORAES, M. A. F. D. DE. Inovação na indústria sucroalcooleira paulista: os determinantes da adoção das tecnologias de agricultura de precisão. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 48, n. 4, p. 543–565, dez. 2010.

COSTA, C. F. G. et al. Escoamento superficial em Latossolo Amarelo distrófico típico sob diferentes agroecossistemas no nordeste paraense. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 2, p. 162–169, 2013.

COSTA, F. S. et al. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n.

3, p. 527–535, jun. 2003.

DALLACORT, R. et al. Modelos de semivariogramas para análise da variabilidade espacial da precipitação pluvial no Pantanal de Mato Grosso Universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT Campus Universitário de Tangará da Serra-MT Rodovia MT 358 , km 7 , Bairro Jardim Aeroporto. **Anais 4 Simpósio de Geotecnologias do Pantanal, Bonito, MS**, p. 471–477, 2012.

DUHAN, J. S. et al. Nanotechnology: The new perspective in precision agriculture. **Biotechnology Reports**, v. 15, p. 11–23, set. 2017.

DYONISIO, A. H. F. Erosão Hídrica : Suscetibilidade Do Solo. **Revista Eletrônica Thesis**, v. 2010, n. 13, p. 15–25, 2010.

EL KATEB, H. et al. Soil erosion and surface runoff on different vegetation covers and slope gradients: A field experiment in Southern Shaanxi Province, China. **CATENA**, v. 105, p. 1–10, jun. 2013.

EMBRAPA, 2016. **Boas páticas agrícolas Terraceamento**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/documents/10180/13599347/ID01.pdf>>.

FERREIRA, A. DE O. et al. Influência Da Declividade E De Níveis De Cobertura Do Solo No Processo De Erosão Com Chuva Simulada. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 5, n. 5, p. 182–190, 2010.

FREITAS, R. M. O. et al. Crescimento de feijão-caupi sob efeito de veranico nos sistemas de plantio direto e convencional. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 2, p. 393–401, 2014.

GIRARDELLO, V. C. et al. Soil penetration resistance and soybean root growth under no till with controlled traffic farming. **Scientia Agraria**, v. 18, n. 2, p. 86–96, 2017.

GOEDERT, W. J.; SCHERMACK, M. J. Estado de compactação do solo em áreas cultivadas. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. v. 37, , n. 1, p. 223–227, 2002.

GOERING, C. E. Recycling a concept. **Agricultural Engineering**, v. 65, n. 6, p. 25, 1993.

GOMEZ, J. et al. Soil management effects on runoff, erosion and soil properties in an olive grove of Southern Spain. **Soil and Tillage Research**, v. 102, n. 1, p. 5–13, jan. 2009.

HAMEED, I. A. et al. Automated generation of guidance lines for operational field planning. **Biosystems Engineering**, v. 107, n. 4, p. 294–306, dez. 2010.

HAMEED, I. A. Intelligent coverage path planning for agricultural robots and autonomous machines on three-dimensional terrain. **Journal of Intelligent and Robotic Systems: Theory and Applications**, v. 74, n. 3–4, p. 965–983, 2014.

KATEB, H. et al. Soil erosion and surface runoff on different vegetation covers and slope gradients: A field experiment in Southern Shaanxi Province, China. **CATENA**, v. 105, p. 1–10, jun. 2013.

KELLOGG, C. E. **The yearbook of agriculture**. Washington: Department of Agriculture e U. S. Government Printing Office, 1957.

KROULÍK, M. et al. Sensors connection for yield determination on round balers with variable chamber. **Research in Agricultural Engineering**, v. 57, n. 2, p. 51–55, 2011.

LAGUË, C.; AGNEW, J.; KHELIFI, M. Theoretical evaluation on the feasibility of controlled-traffic farming (CTF) using wide-span implement carriers (WSIC) for Canadian agriculture. In: **ANUAL MEETING OF THE CSAE/SCGR**. Montréal: CSAE/SCGR, 2003. p. 03–233.

LAL, R. Managing soils for feeding a global population of 10 billion. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 86, n. 14, p. 2273–2284, 1 nov. 2006.

LANSER, E. G. Reaping the benefits of mentorship. **Healthcare executive**, v. 15, n. 3, p. 18–23, 2012.

LENKA, N. K. et al. Weed strip management for minimizing soil erosion and enhancing productivity in the sloping lands of north-eastern India. **Soil and Tillage Research**, v. 170, p. 104–113, jul. 2017.

LIU, H.; HUANG, Q. Adoption and continued use of contour cultivation in the highlands of southwest China. **Ecological Economics**, v. 91, p. 28–37, jul. 2013.

LLANILLO, R. F. et al. Tillage systems on annual crops in Brazil: figures from the 2006 Agricultural Census. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 6Supl1, p. 3691, 2013.

LOPES, A. S. et al. **Sistema plantio direto: bases para o manejo da fertilidade do solo**. [s.l.: s.n.].

- LOTZ, T.; OPP, C.; HE, X. Factors of runoff generation in the Dongting Lake basin based on a SWAT model and implications of recent land cover change. **Quaternary International**, abr. 2017.
- MACHADO, O. D. DA C. et al. Acurácia das semeadoras-adubadoras à taxa variável. **Ciência Rural**, v. 45, n. 7, p. 1205–1213, 2015.
- MAGALHÃES, G. M. F. Análise da eficiência de terraços de retenção em sub-bacias hidrográficas do Rio São Francisco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 10, p. 1109–1115, out. 2013.
- MERTEN, G. H.; MINELLA, J. P. G. The expansion of Brazilian agriculture: Soil erosion scenarios. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 1, n. 3, p. 37–48, dez. 2013.
- MOLIN, J. P. Orientação de aeronave agrícola por DGPS comparada com sistema convencional por bandeiras. **Engenharia Agrícola**, v. 18, n. 2, p. 62–70, 1998.
- MULLA, D. J. Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps. **Biosystems Engineering**, v. 114, n. 4, p. 358–371, abr. 2013.
- OKSANEN, T.; VISALA, A. Coverage path planning algorithms for agricultural field machines. **Journal of Field Robotics**, v. 26, n. 8, p. 651–668, 1 ago. 2009.
- OLIVEIRA, T. C. A.; MOLIN, J. P. Uso de piloto automático na implantação de pomares de citros. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 2, p. 334–342, abr. 2011.
- OPROMOLLA, P. A.; DALBEN, I.; CARDIM, M. Análise geoestatística de casos de hanseníase no Estado de São Paulo, 1991-2002. **Revista de Saúde Pública**, v. 40, n. 5, p. 907–913, out. 2006.
- PERAZZOLI, M.; PINHEIRO, A.; KAUFMANN, V. Efeitos de cenários de uso do solo sobre o regime hídrico e produção de sedimentos na bacia do Ribeirão Concórdia - SC. **Revista Árvore**, v. 37, n. 5, p. 859–869, 2013.
- PUGLIESI, A. C. V. et al. Valoração econômica do efeito da erosão em sistemas de manejo do solo empregando o método custo de reposição. **Bragantia**, v. 70, n. 1, p. 113–121, 2011.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. **R Foundation for Statistical Computing** Vienna, Austria, 2017.

REICHERT, J. M. et al. Variação temporal de propriedades físicas do solo e crescimento radicular de feijoeiro em quatro sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 3, p. 310–319, mar. 2009.

REICHERT, J. M. et al. Conceptual framework for capacity and intensity physical soil properties affected by short and long-term (14 years) continuous no-tillage and controlled traffic. **Soil and Tillage Research**, v. 158, p. 123–136, maio 2016.

RUSU, T. **Energy efficiency and soil conservation in conventional, minimum tillage and no-tillage** **International Soil and Water Conservation Research**, dez. 2014. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2095633915300575>>. Acesso em: 17 jul. 2017

SANDERS, K. T.; MASRI, S. F. The energy-water agriculture nexus: the past, present and future of holistic resource management via remote sensing technologies. **Journal of Cleaner Production**, v. 117, p. 73–88, 20 mar. 2016.

SANTOS, A. C.; SALCEDO, I. H.; CANDEIAS, A. L. B. Relação entre o relevo e as classes texturais do solo na microbacia hidrográfica de Vaca Brava, PB. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 54, 2002.

SCHNEIDER, R. et al. Evaluation of multi-mode CryoSat-2 altimetry data over the Po River against in situ data and a hydrodynamic model. **Advances in Water Resources**, v. 112, p. 17–26, 1 fev. 2018.

SEEBER, G. **Satellite geodesy: foundations, methods and applications**. Berlin: ;New York: Walter de Gruyter, 1993.

SEIDEL, E. J.; OLIVEIRA, M. S. DE. Proposta de uma generalização para os modelos de semivariogramas Exponencial e Gaussiano. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, v. 34, n. 1, p. 125–132, 2013.

SICHONANY, O. R. DE A. O. et al. Sistema computacional de gerenciamento para acompanhamento de desempenho de máquinas agrícolas instrumentadas com sensores. **Ciência Rural**, v. 41, n. 10, p. 1773–1776, out. 2011.

SOUZA, Z. M. DE et al. Número de amostras na análise geoestatística e na krigagem de

- mapas de atributos do solo. **Ciência Rural**, v. 44, n. 2, p. 261–268, fev. 2014.
- SPEKKEN, M. et al. Planning machine paths and row crop patterns on steep surfaces to minimize soil erosion. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 124, p. 194–210, jun. 2016.
- STEVENS, C. J. et al. The effects of minimal tillage, contour cultivation and in-field vegetative barriers on soil erosion and phosphorus loss. **Soil and Tillage Research**, v. 106, n. 1, p. 145–151, dez. 2009.
- SWANEPOEL, P. A. et al. Assessment of tillage effects on soil quality of pastures in South Africa with indexing methods. **Soil Research**, v. 53, n. 3, p. 274–285, 2015.
- TELLES, T. S. **Conservação dos solos e preços de terras agrícolas no Brasil**. [s.l.] Universidade Estadual de Campinas, 2015.
- UNGER, P.W.; CASSEL, D.K. Tillage implement disturbance effects on soil properties related to soil and water conservation: a literature review. **Soil Tillage Research**, v.19, p.363-382, 1991.
- VOLK, L. B. DA S. **Condições físicas da camada superficial do solo resultantes do seu manejo e indicadores de qualidade para redução da erosão hídrica e do escoamento superficial**. [s.l.] UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, 2006.
- WANG, L. et al. Effects of tillage practices and slope on runoff and erosion of soil from the Loess Plateau, China, subjected to simulated rainfall. **Soil and Tillage Research**, v. 166, p. 147–156, mar. 2017.
- WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses a guide to conservation planning**. Washington: [s.n.].
- WÖRMAN, A. et al. Drifting runoff periodicity during the 20th century due to changing surface water volume. **Hydrological Processes**, v. 24, n. 26, p. 3772–3784, 30 dez. 2010.