

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

Leonardo Burin Cocco

**UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAS DE AGRICULTURA DE
PRECISÃO NA DEFINIÇÃO DE ZONAS DE MANEJO**

**Santa Maria, RS
2016**

Leonardo Burin Cocco

**UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAS DE AGRICULTURA DE PRECISÃO NA
DEFINIÇÃO DE ZONAS DE MANEJO**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, Área de Concentração Manejo Sítio Específico Solo/Planta, do Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM/RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Agricultura de Precisão**.

Orientador: Prof. Dr. Jackson Ernani Fiorin

Santa Maria, RS
2016

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Cocco, Leonardo Burin

Utilização de ferramentas de agricultura de precisão na definição de zonas de manejo / Leonardo Burin Cocco.- 2016.

55 f.; 30cm

Orientador: Jackson Ernani Fiorin

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Politécnico, Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, RS, 2016

1. Agricultura de Precisão 2. Atributos químicos do solo 3. Mapas de Produtividade 4. Imagens de Satélite 5. Zonas de Manejo I. Fiorin, Jackson Ernani II. Título.

© 2016

Todos os direitos autorais reservados a Leonardo Burin Cocco. A reprodução de partes ou todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

Endereço: Rua Luiz Brugini, n°. 1007. Júlio de Castilhos, RS. CEP: 98130-000

Fone +55 55 96257180. email: leonardoburincocco@yahoo.com.br

Leonardo Burin Cocco

**UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAS DE AGRICULTURA DE PRECISÃO NA
DEFINIÇÃO DE ZONAS DE MANEJO**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, Área de Concentração Manejo Sítio Específico Solo/Planta, do Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM/RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Agricultura de Precisão**.

Aprovado em 09 de março de 2016:

Jackson Ernani Fiorin, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Antônio Luis Santi, Dr. (UFSM-Campus Frederico Westphalen)

Rafael Pivotto Bortolotto Dr. (UNICRUZ)

Santa Maria, RS
2016

DEDICATÓRIA

Aos meus pais Ivanir Pedro Cocco e Maria Izabel Burin Cocco
que não mediram esforços, me apoiaram e incentivaram em todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

A minha família, pelo apoio prestado desde o início até o fim, em especial meus pais Ivanir Pedro Cocco e Maria Izabel Burin Cocco, irmão Ivan Burin Cocco e namorada Nataner Barbieri.

Pela Universidade Federal de Santa Maria pelo conhecimento gratuito e de qualidade.

Aos professores da Universidade Federal de Santa Maria no Colégio Politécnico da UFSM em especial do Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão pelo conhecimento. Em especial ao Professor Jackson E. Fiorin pelo desafio de ser o meu orientador e encarar de forma digna, prestativa e confiável. Aos Professores Antônio L. Santi e Telmo J. C. Amado pelo conhecimento extra, proveniente do campo até a sala de aula. Ao Professor Enio Giotto pela conhecimento ao criar o software CR – Campeiro de Agricultura de Precisão. Ao Secretário da Coordenação Juliano Molinos de Andrade que desde o começo se empenhou nas orientações prestadas.

Ao senhor Fabiano Paganella que por meio de sua empresa Plantec Engenharia Agronômica juntamente parceira GeoAgro (Argentina) foi concedida as imagens de satélites para confecção das zonas de manejo.

Aos colegas Mauro Rohr e Pablo Fernandes pelo coleguismo, Danner Rambo Berguemaier e Fábio Pires pelos ensinamentos prestados no Software CR – Campeiro, e ao amigo Geomar M. Corassa pelas discussões e explicações sobre o tema Agricultura de Precisão.

Obrigado !!!

EPÍGRAFE

“É preciso encorajar o desprendimento científico aos jovens, porque ele é uma das forças vivas do progresso na teoria, fonte de todo o progresso na aplicação”.

(Luis Paster)

RESUMO

UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAS DE AGRICULTURA DE PRECISÃO NA DEFINIÇÃO DE ZONAS DE MANEJO

AUTOR: Leonardo Burin Cocco
ORIENTADOR: Jackson Ernani Fiorin

A agricultura de precisão (AP) surge como uma ferramenta permitindo manejar de forma racional a variabilidade espacial e temporal dos atributos químicos do solo com objetivo de maximizar eficientemente o uso das áreas agrícolas. Entretanto, em algumas situações visualiza-se uma baixa correlação entre os atributos químicos do solo e a produtividade das culturas, destacando-se a necessidade da evolução da AP em buscar ferramentas e alternativas para a definição de zonas de manejo. Nos últimos anos, têm ganhado destaque os estudos sobre parametrização de atributos dos dosséis vegetais, sendo o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) o mais conhecido. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a utilização de ferramentas de AP na definição de zonas de manejo na região central do Rio Grande do Sul. O trabalho foi conduzido com a cultura do milho (*Zea mays* L.) ano agrícola 2014/15, numa área de 15,1 hectares no município de Júlio de Castilhos, RS, manejada com irrigação por pivô central. A variabilidade espacial de atributos de solo e de plantas foi caracterizada com base na coleta de informações numa malha amostral de 0,5 ha, totalizando 32 pontos na área experimental. As imagens de satélite Landsat (NDVI) com resolução espacial de 30 x 30 m foram processadas possibilitando a confecção de mapa de produtividade e a definição de zonas de manejo da área. Os atributos do solo possuem alta variância no desvio padrão (S) e coeficiente de variação (CV%) do fósforo (18,10 e 42,46), potássio (38,26 e 25,80), saturação por alumínio (4,63 e 130,14), enxofre (6,72 e 40,57) e manganês (7,32 e 30,23). A análise da estatística e geoestatísticos para produção de massa seca (28,10 CV % e $r^2=0,96$) e produtividade grãos de milho (11,85 CV % e $r^2=0,99$). A correlação linear de Pearson foi significativa positivamente para produtividade de grãos de milho indicou a argila, saturação por bases, cálcio, índice SMP, magnésio e NDVI; massa seca indicou matéria orgânica, índice SMP, CTC_{pH 7} e magnésio. Entre os diferentes métodos das zonas de manejo a correlação positiva entre as zonas de massa seca da resteva e produtividade com zona de altitude, zona atributos químicos e zona de NDVI. A utilização de imagens de satélites possibilitou a garantia da avaliação de diferentes zonas de manejo.

Palavras-chave: Agricultura de Precisão. Atributos químicos do solo. Mapas de Produtividade. Imagens de Satélite. Zonas de Manejo.

ABSTRACT

PRECISION FARMING TOOLS FOR USE IN MANAGEMENT AREAS OF PRODUCTION

AUTHOR: Leonardo Burin Cocco

ADVISOR: Jackson Ernani Fiorin

Precision agriculture (AP) appears as a permissible tool to manage rationally the spatial and temporal variability of soil chemical attributes in order to effectively maximize the use of agricultural areas. However, in some situations visualized a low correlation between the chemical soil properties and crop productivity, emphasizing the need for development of AP to seek alternatives and tools for the definition of management zones. In recent years, they have gained prominence studies of parameter attributes of plant canopies, and the Vegetation Index (NDVI) the best known. This study aimed to evaluate the use of AP tools to define management zones in the central region of Rio Grande do Sul. The work was conducted with the culture of the agricultural year 2014/15 corn in an area of 15.1 hectares in the municipality of Julio de Castilhos, RS, managed with irrigation center pivot. The spatial variability of soil attributes and plants was characterized based on the collection of information on a sampling grid of 0.5 ha, totaling 32 points in the experimental area. The Landsat satellite images (NDVI) with a spatial resolution of 30 x 30 m were processed enabling the production of productivity map and the definition of management zones in the area. The soil properties have high variance in the standard deviation (S) and coefficient of variation (CV%) of phosphorus (18.16 and 42.46), potassium (38.263 and 25.80), aluminum saturation (4,63 and 130.14) sulfur (6.72 and 40.57) and manganese (7.32 and 30.23). The analysis of the statistical and geostatistical to dry mass (28,10% CV and $r^2 = 0.96$) and corn (11.85% CV and $r^2 = 0.99$). The Pearson correlation was significant positively to productivity of corn kernels indicated the clay, base saturation, calcium, SMP index, magnesium and NDVI; indicated dry weight organic material, SMP index CTC_{pH7} and magnesium. Among the different methods of zones positive correlation between dry matter areas of stubble and productivity with altitude zone, chemical attributes zone and NDVI zone. The use of satellite images made it possible to guarantee the evaluation of different management zones.

Keywords: Precision Agriculture. Chemical Soil Attributes. Productivity Maps. Satellite Images. Management Areas.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Contorno e grade amostral dos pontos de realização das coletas de solo, massa seca da resteva e produtividade do milho da área experimental. Júlio de Castilhos, RS	26
Figura 2 – Comportamento espectral dos elementos (A) e análise da resposta espectral da vegetação saudável (B)	30
Figura 3 – Produção de massa seca de aveia branca+nabo forrageiro $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (A) e produtividade de grãos de milho $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (B) da área experimental. Júlio de Castilhos, RS	37
Figura 4 – Variabilidade espacial do fósforo (A) e potássio (B) da área experimental. Júlio de Castilhos, RS	38
Figura 5 – Quadricula utilizada na padronização das imagens de satélite (A) e os respectivos mapas de NDVI fornecida pela empresa GeoAgro na cultura do milho em 05/12/2014 (B) e na cultura da soja em 19/01/2014 (C) da área experimental. Júlio de Castilhos, RS	40
Figura 6 – Definição das zonas de manejo fornecida pela empresa GeoAgro a partir de imagens de satélites (NDVI). Júlio de Castilhos, RS	41
Figura 7 – Contorno e grade amostral dos pontos de amostragem (A) e mapa temático da altitude (B) da área experimental. Júlio de Castilhos, RS	41
Figura 8 – Definição da zona manejo pela média do rendimento relativo da massa seca da aveia branca+nabo forrageiro e produtividade de grãos de milho da área experimental. Júlio de Castilhos, RS	42
Figura 9 – Definição da zona manejo pela média do rendimento relativo dos atributos químicos do solo da área experimental. Júlio de Castilhos, RS	43
Figura 10 – Definição da zona manejo pelos dados relativizados NDVI soja e milho; massa seca; produtividade de grãos milho; $\text{pH}_{\text{água}}$; argila; índice SMP; cálcio; magnésio; matéria orgânica; CTC pH_7 ; saturação bases; e altitude. Júlio de Castilhos, RS	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1– Histórico dos cultivos, práticas de adubação e correção realizadas na área de estudo.....	25
Tabela 2 – Informações de manejo das culturas enviadas a empresa GeoAgro para análise..	29
Tabela 3 – Análise estatística descritiva correspondente aos valores mínimos (Mn), máximos (Mx) e médios (Mm), desvio padrão (S), coeficiente de variação (CV, %) e Erro (%) referentes aos atributos químicos do solo da área experimental - coleta 2014. Júlio de Castilhos, RS	33
Tabela 4 – Análise estatística descritiva correspondente aos parâmetros geoestatísticos (valores de efeito pepita - Pp, patamar - Pt, alcance - Ac - referentes a diferentes modelos de semivariograma e dependência espacial: Grau de Dependência Espacial - GD - e Classe - C, coeficiente de correlação - r^2) referentes aos atributos químicos do solo da área experimental - coleta 2014. Júlio de Castilhos, RS	34
Tabela 5 – Matriz de correlação simples de Pearson entre os atributos químicos do solo, produção de massa seca de aveia branca+nabo forrageiro, produtividade de grãos de milho e NDVI, safra 2014. Júlio de Castilhos – RS.....	39
Tabela 6 – Matriz correlação de Pearson entre diferentes métodos das zonas de manejo. Júlio de Castilhos – RS	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AP	Agricultura de Precisão
ASTER	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
CBERS	Satélite Sino Brasileiro de Recursos Terrestres
CV	Coefficiente de Variação
GPS	Sistema de Posicionamento Global
LANDSAT	Satélites de Observação da Terra
MOS	Matéria Orgânica do Solo
NDVI	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
RL	Rendimento Relativo
RS	Rio Grande do Sul
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria
UGD	Unidades Gerenciamento Definitivo
ZM	Zonas de Manejo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	15
2.1	OBJETIVO GERAL.....	15
2.1.1	Objetivos específicos	15
3	REVISÃO DA LITERATURA	16
3.1	A CULTURA DO MILHO IRRIGADO	16
3.2	AGRICULTURA DE PRECISÃO	17
3.3	VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO.....	20
3.4	MAPA PRODUTIVIDADE	21
3.5	IMAGENS DE SATÉLITE	22
3.6	ZONA DE MANEJO.....	23
4	MATERIAL E MÉTODOS	25
4.1	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	25
4.2	VETORIZAÇÃO E COLETA DE DADOS.....	26
4.3	VETORIZAÇÃO DOS MAPAS	27
4.4	OBTENÇÃO DAS IMAGENS DE SATÉLITE	28
4.5	TRATAMENTO DOS DADOS	30
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	32
5.1	5.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO, PRODUÇÃO DE MASSA SECA E PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DE MILHO..	32
5.2	CORRELAÇÃO DE PEARSON DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO, PRODUÇÃO DE MASSA SECA DE AVEIA BRANCA+ NABO FORRAGEIRO, PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DE MILHO E NDVI	35
5.3	DEFINIÇÃO ZONAS DE MANEJO ATRAVÉS IMAGENS DE SATÉLITES	40
5.4	DEFINIÇÃO DE ZONAS DE MANEJO ATRAVÉS ALTITUDE	41
5.5	DEFINIÇÃO ZONAS DE MANEJO ATRAVÉS MASSA SECA E PRODUTIVIDADE DE MILHO	42
5.6	DEFINIÇÃO DE ZONAS DE MANEJO ATRAVÉS ATRIBUTOS QUÍMICOS	43
5.7	DEFINIÇÃO DA ZONA DE MANEJO PELA UNIÃO DOS DADOS.....	43
5.8	CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE DIFERENTES METODOS DE ZONAS DE MANEJO.....	44
6	CONCLUSÕES	46
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48

1 INTRODUÇÃO

A agricultura de precisão (AP) surgiu no contexto da atividade agrícola no final do século passado, graças ao desenvolvimento e disponibilidade de algumas tecnologias, entre as quais, o sistema de posicionamento global (GPS), os sensores de produtividade, técnicas de sensoriamento remoto e sistemas de aplicações de insumos a taxas variáveis. Recentemente essas tecnologias embarcadas em máquinas e equipamentos, têm permitido a obtenção de mapas de produtividade, aplicações de fertilizantes, corretivos à taxa variável e um conhecimento detalhado da lavoura Amado e Santi (2007). A partir de então, o monitoramento da produtividade através de mapas obtidos por meio de colhedoras equipadas com antena GPS e sensores eletrônicos para medição de fluxo de massa e teor de umidade de grãos, está sendo utilizado como fonte de informação e diagnóstico das condições de produção das áreas de cultivo. A utilização dessas ferramentas de AP por parte dos produtores rurais, ocorre pela busca da máxima eficiência gerencial da propriedade.

No Brasil a produtividade média da cultura do milho é de aproximadamente 4.200 kg.ha⁻¹, ficando bem abaixo quando comparada com a dos EUA que varia entre 9.000 a 10.000 kg.ha⁻¹ (GLAT, 2010). A previsão de produção de milho no Brasil neste ano de 2014/15 está estimada em 79,0 milhões de toneladas (CONAB, 2015), esta que vem crescendo com ganho na produtividade aliada à tecnologia e técnicas de agricultura de precisão. No entanto a ocorrência de estresses hídrico em algumas regiões do Rio Grande do Sul (RS) pode prejudicar o desenvolvimento da cultura, devido principalmente pela má distribuição das chuvas no período da floração o que pode acarretar perdas de produtividade. Com isso a irrigação é uma importante ferramenta para o aumento da produtividade, sendo a água um dos fatores mais importantes para as culturas. Contudo o uso da irrigação via pivô central é um meio fácil e prático no manejo a campo, pois repõe a água que a planta perde ficando exposta a altas temperaturas e períodos longos sem chuva pela evapotranspiração, não interferindo na produção da fotossíntese e consequentemente na produtividade final.

Há uma grande importância de conhecer melhor a cultura do milho, pois esta possui um alto potencial de resposta à produtividade quando exposta a melhores tecnologias. Entretanto, mesmo com genética de alto potencial produtivo a cultura responderá principalmente à interação com o ambiente. A importância dessa interação, deve-se quantificar a magnitude e a significância de seus efeitos para adoção de estratégias que possam minimizar ou aproveitar o efeito dessa interação pois a alocação dos fatores de

produção mal posicionados podem gerar uma baixa interação com o ambiente acarretando em uma baixa produtividade.

Ao analisar os resultados da pesquisa, visualiza-se a difícil combinação dos atributos químicos do solo e a produtividade de milho pela baixa correlação entre si e altos índices de desvio padrão. Com isso destaca-se a importância da evolução da em buscar ferramentas e alternativas para a definição de zonas de manejo com o uso de imagens de satélites, visando ir ao encontro da eficiência do manejo das culturas com técnicas de agricultura de precisão permitindo interpretar situações semelhantes de forma diferenciada.

Nos últimos anos, têm ganhado destaque os estudos sobre parametrização de atributos morfológicos dos dosséis vegetais, feitos com métodos baseados nas propriedades ópticas das plantas, diversos índices gerados pela combinação de valores de refletância entre bandas espectrais específicas vêm sendo utilizados, como indicadores da quantidade de vegetação e 108 outros atributos dos dosséis, sendo o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), o mais conhecido (OLLINGER, 2011; SIMÕES et al., 2015).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a utilização de ferramentas de agricultura de precisão na definição de zonas de manejo na região central do Rio Grande do Sul.

2.1.1 Objetivos específicos

- Avaliar a variabilidade espacial de atributos químicos do solo;
- Avaliar a variabilidade espacial de parâmetros da planta numa área irrigada por pivô central;
- Correlacionar atributos químicos do solo com parâmetros de planta;
- Identificar as zonas de manejo de alta, média e baixa produtividade utilizando ferramentas de agricultura de precisão;
- Correlação entre zonas de manejo definidas por diferentes métodos.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 A CULTURA DO MILHO IRRIGADO

A previsão de produção de milho no Brasil neste ano de 2014/15 está estimada em 79,0 milhões de toneladas, desse total, cerca de 48,0 milhões correspondem ao milho de segunda safra, para 2024/25 a produção projetada é de 99,8 milhões de toneladas (CONAB, 2015). O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de milho, totalizando 53,2 milhões de toneladas na safra 2009/2010, ficando atrás apenas dos Estados Unidos para a produção do álcool e China com o crescimento do rebanho bovino de leite (MAPA, 2011). O aumento da produção e exportação vem crescendo anualmente e será obtida por meio de ganho de produtividade, com isso a necessidade de técnicas mais eficazes para alavancar este aumento, visando à soma da lucratividade. A estiagem ocorre em períodos não bem definidos, mas quando ocorrem às consequências são drásticas para a lavoura de milho, resultando geralmente em diminuição no rendimento de grãos (RODRIGUES et al., 2009). Além disso, as lavouras do Rio Grande do Sul sofrem com a estiagem relacionada ao fenômeno La Niña associado a precipitações abaixo da média histórica do estado RS, dificultando o pleno desenvolvimento da cultura.

A irrigação é um tema muito difundido por ser uma alternativa viável para a agricultura ao permitir manejar de forma precisa as demandas hídricas das culturas. Estudos Embrapa Milho e Sorgo (MG) com a Agência Nacional de Águas (ANA) mostraram que em 2013, o Brasil possuía quase 18 mil pivôs centrais, perfazendo uma área de aproximadamente 1,2 milhão de hectares (EMBRAPA, 2013). A determinação da evapotranspiração da cultura e o balanço hídrico do perfil do solo explorado pelas raízes ao longo do ciclo de desenvolvimento são fundamentais para que se possam estimar as necessidades hídricas da mesma. O milho apresenta demanda hídrica que varia de 380 a 500 mm, dependendo das condições climáticas (CRUZ et al., 2010). O período crítico da cultura de milho vai do pendoamento ao início do enchimento de grãos (MATZENAUER, 1994), a falta de água nessas fases de desenvolvimento reduz a produtividade. No Estado do Rio Grande do Sul, Bergamaschi et al. (2004) observaram que a cultura do milho necessita em torno de 7 mm por dia de água durante o florescimento, quando este ocorre próximo ao solstício de verão, que é o período de máxima radiação solar. Como qualquer outro sistema de irrigação, o objetivo do pivô central é distribuir água de maneira uniforme e controlada na área irrigada, interferindo

nos custos, efeitos desfavoráveis sobre a produtividade por unidade de água aplicada e no meio ambiente (BERNARDO et al., 2008).

Outro fator preponderante que afetam a produtividade de milho é a escolha do híbrido, que pode determinar uma variação de até 50% da produtividade, dependendo também da interação com o ambiente de cultivo (EMBRAPA, 2011). Desta forma, a maior produtividade das lavouras da cultura do milho tem sido satisfatória na região sul do Brasil, associando o emprego da irrigação nas lavouras.

Existem mais de 250 híbridos e variedades diferentes de milho no mercado, fruto da pesquisa que disponibiliza o híbrido ideal para cada condição utilizando tecnologias de melhoramento. Assim em cada busca do melhoramento na introdução de genes altera-se a precocidade, a tolerância a doenças ou a produção. Conforme considerações da Embrapa (2011), um dos fatores preponderantes que afetam a produtividade de milho, é a escolha do híbrido, que pode determinar uma variação de até 50% da produtividade, dependendo também da interação com o ambiente de cultivo, como as características agronômicas pertencem na regra geral para quase todos os híbridos simples pelo seu alto potencial produtivo quando exposto a tecnologias comparadas a um híbrido duplo.

3.2 AGRICULTURA DE PRECISÃO

A partir de 1980, a invenção de novas tecnologias, como o computador, softwares de sistemas de informações geográficas, sensores e técnicas de produção tornaram viável a utilização das técnicas de Agricultura de Precisão (AP). Segundo Queiroz et al. (2000), até o início dos anos 90, as pesquisas em AP concentraram-se basicamente no desenvolvimento de sensores. Dessa forma, são montados dispositivos nas máquinas de aplicação que comandam as decisões de variação da aplicação, processando os dados dos sensores existentes e os dados inseridos pelo usuário, aplicando portanto a dose necessária Dallmeyer e Schlosser (1999).

Dallmeyer e Schlosser (1999) relatam que a AP engloba o uso de tecnologias atuais para o manejo do solo, insumos e culturas de modo adequado para as variações espaciais e temporais nos fatores que afetam a produtividade das mesmas. O que tem levado a esta nova filosofia de prática agrícola é o uso de três novas tecnologias, que são o sensoriamento remoto, o uso de sistemas de informações geográficas (SIG) e o sistema de posicionamento global (GPS).

A adoção de técnicas de AP destaca-se entre os agricultores que visam otimizar os recursos disponíveis, enfatizando o aumento de produtividade e mantendo ou reduzindo o

total de insumos (BLACKMORE, 1994), pois, ao se considerar a variabilidade espacial dos fatores de produção, é possível aplicar as quantidades necessárias em cada ponto, fortalecendo os conceitos de agricultura sustentável Goering e Hans (1993).

Segundo Fraisse e Faoro (1998), a AP é uma tecnologia de informação que possibilita o gerenciamento da atividade agrícola, levando em consideração a variabilidade espacial e temporal das condições do solo e da cultura, permitindo, dessa forma a otimização da utilização do uso dos insumos agrícolas.

AP é um sistema de gestão ou de gerenciamento da produção agrícola que emprega um conjunto de tecnologias e procedimentos para que as lavouras e sistemas de produção sejam otimizados, tendo como elemento-chave o manejo da variabilidade da produção e dos fatores envolvidos (MOLIN, 2001).

Atualmente está cada vez mais fácil encontrarmos máquinas que realizam operações cada vez mais eficazes nas aplicações de insumos a taxas variáveis, mas uma preocupação está com o custo em relação à máquina, traz a necessidade de uma máquina específica para cada operação visando o aumento da produtividade com a redução da quantidade de insumos quando se usa as ferramentas de AP, por isso Molin et al. (2001), salienta que os distribuidores a lançar estão sendo utilizados como máquina alternativa, tanto nas aplicações em cobertura como em aplicações pré-plantio; na maioria dos casos, porém não se tem informação confiável quanto à qualidade de aplicação de grande parte das máquinas disponíveis no mercado brasileiro.

Segundo Amado et al. (2006), áreas com grande variabilidade dos principais atributos determinam que a forma tradicional de se fazer agricultura agrava a variabilidade de atributos naturalmente existente nessas áreas. Para evitar que em algumas áreas a correção do solo seja superdimensionada ou subdimensionada tem-se utilizado de recomendações de corretivos georreferenciados transportados aos mecanismos de distribuição por meio de arquivos de mapa. A variabilidade espacial dos atributos químicos de solos possibilita a recomendação de doses de calcário, fósforo e potássio com taxas variadas, proporcionando economia e maior eficiência na aplicação (CHANG et al., 2003; WANG et al., 2006).

Quando se utiliza da aplicação em taxa variável, a dinâmica do nutriente no solo deve ser observada, sendo que a mesma pode definir a eficiência da correção do mesmo. Alguns resultados obtidos por Santi (2007) trabalhando com um solo com teor de 70% de argila, tem demonstrado a dificuldade de se manejar a adubação com fósforo, onde em muitos casos os objetivos não são atingidos, em virtude da grande quantidade de atributos físico-químicos do solo envolvidos. Isso ocorre devido a grande amplitude apresentado pelo fosforo pode ser

decorrente de fatores naturais, como sua baixa concentração natural nos latossolos e consequente alto poder tampão que, aliados à sua dinâmica de baixa mobilidade, podem resultar em alta variabilidade (SCHLINDWEIN, 2003).

A aplicação localizada de insumos é possível pela demarcação de unidades de gerenciamento que representem uma combinação homogênea de fatores limitantes da produtividade (FRIDGEN et al., 2000). Segundo Dallmeyer (1985) recomenda que a análise do perfil transversal seja feita através do CV e a largura de trabalho selecionada como sendo efetiva aquela em que, após a sobreposição, o CV seja de 15%; da mesma forma, a avaliação da uniformidade de distribuição transversal de fertilizantes utilizando distribuidores centrífugos, conforme Glover e Baird (1973 apud WEISS, 1986, p. 79) é feita pelo coeficiente de variação; eles consideram, como grau de uniformidade de distribuição muito bom, o CV até 10%; bom de 10 a 20%; regular de 20 a 33% e deficiente o CV acima de 33%. A aplicação de fertilizantes em taxa variável, baseada na variabilidade do solo dentro de um campo, tem um potencial para reduzir sub e super fertilizações, e assim melhorar a eficiência de uso de fertilizantes, a diminuição do impacto ambiental, o aumento do rendimento das culturas e o lucro líquido da propriedade (FIEZ et al., 1994).

Após apontar as causas e efeitos que determinam a variabilidade na produtividade das culturas, faz-se necessário intervir de maneira localizada, a fim de eliminar ou amenizar tais limitantes (DELLAMEA et al., 2007). Uma das práticas de AP mais difundida em meio aos produtores é o uso das aplicações à taxa variável de fertilizantes, objetivando aplicar no local correto (espaço) e no momento adequado (tempo), as quantidades de insumos necessários à produção agrícola Dodermann e Ping (2004). Com a possibilidade de determinar áreas de gerenciamento, possibilitou-se também a variação da densidade de semeadura, utilizando-se o mapeamento dos atributos do solo e os fatores limitantes da produtividade (FRIDGEN et al., 2000).

Vieira Junior et al. (2004) verificaram que a população total de plantas contribuiu significativamente (25,6%) para a redução na produtividade de grãos. Isso afeta aproximadamente até 40% da produtividade dos grãos, sendo recomendada a determinação da população ideal, considerando diferentes ambientes e genótipos dentro de um mesmo sistema. Alguns resultados apresentados por Molin (2006) trabalhando com a cultura do milho, demonstraram que a adaptação do genótipo ao adensamento pode influenciar nos resultados obtidos com semeaduras a taxa variável, resultando em aumento da quantidade de sementes e redução da produtividade.

3.3 VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

Numa paisagem natural, o solo pode apresentar uma ampla variabilidade das suas características, tanto no sentido espacial horizontal como vertical (perfil do solo), resultante dos processos que comandam os fatores de sua formação (CARVALHO et al., 2003). A atividade humana, que embora objetive uniformizar os teores dos nutrientes no solo, também induz a variabilidade Schlindwein e Anghinoni (2002). A AP surge como uma ferramenta opcional na agricultura mundial, permitindo manejar de forma racional a variabilidade espacial e temporal os atributos químicos do solo com objetivo de maximizar eficientemente o uso das áreas agrícolas.

O uso e o manejo baseados em cultivos intensivos, aliados à alta taxa de revolvimento ao longo do tempo que antecedeu o advento do sistema plantio direto (SPD) no Sul do Brasil, promoveram alterações nas propriedades, como a redução do conteúdo de matéria orgânica do solo (MOS) e o decréscimo das produtividades das culturas (WENDLING et al., 2005).

Em seu trabalho, Dampney e Moore (1999) listaram três categorias principais de fatores que podem causar variabilidade espacial na produtividade ou na qualidade das culturas: atributos fixos locais, não facilmente alterados (exemplo: textura e profundidade do solo); atributos persistentes locais, que podem ser alterados (exemplo: pH e nutrientes do solo); e, fatores estacionais de curta duração (exemplo: clima, doenças foliares e pragas).

Conhecer detalhadamente a presença da variabilidade química e suas relações com a produtividade pode permitir implantar o manejo em sitio específico ou em taxa variada (COELHO, 2003). Uma análise integrada dos atributos de solo e vários mapas de produtividade, entretanto, podem revelar importantes interações entre os atributos do solo e o potencial produtivo, exibindo relações com sub-regiões na lavoura de maneira que se possam definir estratégias de manejo (PONTELLI, 2006).

Apesar de reconhecer a possibilidade de detectar e manejar a variabilidade de muitos atributos, como produtividade e qualidade da cultura, tipo de solo e nutrientes, e manejos integrados, Dampney e Moore (1999) afirmaram que o mapeamento confiável e não oneroso desses atributos apresenta muitos desafios. Neste sentido, dados de produtividade e de amostras regionalizadas de solo têm sido utilizados para estudar a correlação entre a variabilidade de propriedades do solo e a produtividade de culturas (COELHO et al., 1999).

Um dos princípios da AP é a aplicação de insumos em taxa variada, de acordo com a variabilidade espacial e temporal dos atributos químicos do solo e das culturas (CORÁ et al., 2004). Portanto, a AP é um instrumento de gerenciamento agrícola que parte do registro

georreferenciado de informações de solo e de culturas, completando-se com intervenções de manejo localizado Amado e Santi (2007).

3.4 MAPA PRODUTIVIDADE

Recentemente, tecnologias embarcadas em máquinas e equipamentos como sensores de rendimento e GPS, têm permitido a obtenção de mapas de produtividade, aplicações de fertilizantes, corretivos à taxa variável e um conhecimento detalhado da lavoura Amado e Santi (2007). Essas tecnologias podem ser passíveis de erros incluindo a calibração do sensor de produção, precisão do GPS, incerteza quanto à faixa de cultura entrando na plataforma, grãos em massa, perda de grãos e muitos outros não listados Blackmore e Marshall (1996, apud JOHANNSEN et al., 1999).

De acordo com Giotto et al., (2006), a pesquisa em relação aos mapas de produtividade desenvolve-se na atualidade, com foco relativo à indústria/mecanização, com estudos de sensores de rendimento e demais instrumentação compatível, que são instalados em colhedoras que também são equipadas com sistema de geoposicionamento (GPS).

Essas tecnologias proporcionaram uma ampliação na tomada de informações como o desempenho operacional das máquinas e a possibilidade de quantificação da produtividade e caracterização de sua variabilidade até então, em alguns casos conhecida, mas não possível de mensuração Cugnasca e Saraiva (2005). Argenta et al. (2003) ressaltaram que a determinação do potencial de rendimento de grãos das culturas torna-se ferramenta importante para a tomada de decisões no manejo, por possibilitar a identificação dos fatores limitantes e subsidiar o dimensionamento dos impactos dos fatores restritivos ao rendimento e a definição de estratégias de como superá-los ou minimizá-los através do manejo adequado.

O mapa de produtividade, também denominado mapa de colheita é uma importante ferramenta da AP, pois auxilia na identificação e quantificação da variabilidade da produtividade das culturas, auxiliando nos processos investigativos na lavoura e no seu gerenciamento (HAN et al., 1994). Para Moore (1998) o mapa de produtividade é um dos métodos mais concisos para se estimar a heterogeneidade da área. Molin (2003) aponta como o ponto de partida que muitos usuários e pesquisadores devem tomar para evidenciar unidades de alta e baixa produtividade. Para Molin (2000), os mapas de colheita fazem parte de uma etapa de aprendizagem para o agricultor e os que o cercam nessa tarefa. A análise de uma sequência de mapas de produtividade, nesse caso, pode ser uma forma de definir tais unidades de manejo em uma área e possibilitar a compreensão, o acompanhamento e a análise das

possíveis causas e fatores que influenciam essa variabilidade durante safras seguidas (FRAISSE, 2006).

Conceitualmente, Evans (1993) definiu o potencial de rendimento das culturas como o rendimento apresentado pelas mesmas quando cultivadas em ambiente ao qual está adaptado, sem limitações no suprimento de água e nutrientes, controle efetivo de insetos, doenças, plantas daninhas, excessos hídricos e de outros estresses bióticos e abióticos.

Alguns dos erros mais comuns encontrados nos arquivos advindos do campo referem-se a dados coletados em condições estáticas (colhedora parada), erros de posicionamento, ausência de sensor de umidade e erros de leitura do sensor de fluxo de grãos (MENEGATTI, 2002); erros devidos à recirculação de grãos no mecanismo de trilha e retrilha, perdas de grãos pela colhedora, principalmente na plataforma Blackmore e Marshall (1996) e aqueles referentes à calibração do volume, largura incorreta de plataforma e tempo de enchimento da colhedora (MOORE, 1998). O programa CR Campeiro, desenvolvido pelo setor de Geomática da Universidade Federal de Santa Maria (GIOTTO et al., 2004) procurando eliminar através de filtragens os valores de produtividade discrepantes como os erros de posicionamento (coordenadas repetidas) e a presença de valores de produtividade improvável devido ao seu alto valor, quando comparado com os pontos sequenciais. Menegatti (2002) ainda alerta que o grande número de pontos coletados pelo sistema aumenta a qualidade da informação, mesmo quando se elimina um percentual elevado de dados.

Quando se almeja utilizar os mapas de colheita para definir estratégias de manejo, é importante que se acumule vários mapas de colheita na mesma área, para minimizar tais efeitos e a tomada de decisões precipitadas e imprecisas, salvo nos casos em que os problemas tenham sido levantados durante o processo de colheita, auxiliado pelo uso de marcadores Mulla e Schepers (1997).

3.5 IMAGENS DE SATÉLITE

Zhang et al. (1999), estudando a aplicação de imagens aéreas digitais para monitorar e prever a produtividade potencial de milho e soja, consideraram que a qualidade dos dados de um monitor de produtividade depende da variação da topografia e de quão uniformemente a colhedora é dirigida, uma vez que os dados de produtividade são registrados como uma taxa de fluxo de massa, a intervalos regulares e muito reduzidos.

Johannsen et al. (1999) relataram que os produtores rurais já têm serviços disponíveis que envolvem dados de satélites, transmissão local de informações e fornecimento de dados a partir de uma variedade de fontes (sensores sobre tratores, colhedoras ou outros

equipamentos, sensores sobre aeroplanos para auxiliar em levantamentos da cultura, recepção ou análise de informações de satélite).

Existem diferentes ferramentas que auxiliam na definição das unidades de manejo, Johannsen et al. (2000), apresentam uma visão do uso combinado do sensoriamento remoto para obter índices de vegetação associados a outros recursos como a amostragem de solo em grade e condutividade elétrica do solo. Porém, mesmo com os inegáveis reflexos do uso dessas tecnologias observadas diretamente na produção de grãos em curto prazo (SANTI et al., 2013), o pensamento de que amostragem georreferenciada de atributos de solo e planta, elaboração de mapas temáticos, aplicação em taxa variada de corretivos e fertilizantes, manejo de nitrogênio (N) baseado em sensores em tempo real, uso de imagens aéreas e de outras tecnologias proporcionadas pela AP, irão por si só garantir altas produtividades e sustentabilidade econômica e ambiental, é um erro que conduzirá, em poucos anos, a degradação do sistema solo (SANTI et al., 2014).

Novas metodologias têm surgido para definição de zonas de manejo, como é o caso do uso de imagens de satélites, índices de vegetação e vigor, condutividade elétrica, dentre outros. Destaca-se que no sensoriamento remoto, o uso de funções exponenciais é comum para expressar a relação da variável indicadora com o NDVI (LIU, 2006). Na AP utilizam-se de forma intensa as geotecnologias, tais como sensoriamento remoto, tais como obter informações de objetos sem contato físico, por meio de uso de sensores (DEGHAID et al., 2013)

3.6 ZONA DE MANEJO

A AP vem buscando ferramentas para que possam incrementar as informações e aliar com questões agronômicas, por isso a caracterização de unidades gerenciamento definitivo (UGD) ou zonas de manejo (ZM) são unidades agrupadas por possuírem o mesmo desempenho vegetal em determinada área. Sendo assim com poucas amostragens pode-se representar a área, com isso diminui-se variabilidade dentro da amostra homogenia podendo usar alguns conceitos de média. Entre as diversas maneiras de conduzir a investigação da variabilidade, destacam-se a amostragem de solo em malha (grid), os mapeamentos de plantas daninhas, de condutividade elétrica do solo, de compactação, o acompanhamento do desenvolvimento da cultura por sensoriamento remoto e de forma mais difundida, o mapeamento da produtividade por ocasião da colheita (RODRIGUES, 2002).

Após gerar algumas informações a campo ou no laboratório são necessários em torno de 3-5 mapas para definir uma zona de manejo, como: mapas de solo, mapas de colheita,

mapas de resistência à penetração, infiltração de água, massa seca, condutividade elétrica, imagens de satélite ou sensores (NDVI), altitude e outros podendo se realizar sobreposições das informações ou dos mapas para gerar informações mais homogêneas, correlações entre mapas de anos diferentes e culturas diferentes possuem uma média de 35% de correlação.

A sobreposição de diferentes mapas gera uma malha de quadriculada, aonde estabelece uma média dos valores ao passar do ano sempre nos mesmos pontos georeferenciados também caracterizado como análise de Cluster ou Agrupamento que permite entrar com mapas diferentes e através do geoprocessamento do ponto começa a definir zona de manejo ou grupos de similaridade, através do rendimento relativo (relação entre a produtividade na quadricula com a média geral da variável) como: Shiratsuchi et al. (2005) sugerem intervalos entre os pontos com valores iguais ou superiores a 110% da média geral compõem a classe de alta produtividade, os pontos com 90% a 110% da média a classe de média produtividade e os pontos com 90% ou menos, a classe de baixa produtividade.

Após a eliminação de dados irreais, para o estudo da variabilidade espacial e temporal, classes de produtividade (rendimento relativo), segundo os critérios propostos por Molin (2002) os pontos com valores iguais ou superiores a 105% da média geral de produtividade da lavoura constituíram a classe de alta produtividade, os pontos com 95% a 105% da média constituíram a classe de média produtividade e os pontos com 95% ou menos que a média da lavoura, a classe de baixa produtividade. Isso permite relativizar a produtividade e comparar o potencial produtivo de diferentes culturas e anos.

Depois de geradas algumas informações de zonas de manejo há necessidade de resolver a variabilidade ou desuniformidade do solo, por isso as zonas de manejo haverá a necessidade de adaptarmos a adubação no solo, a população de plantas ou o genótipo para garantir que a cultura expresse o seu maior potencial produtivo em diferentes locais na mesma área. A necessidade de caracterizar em classes de diferentes níveis ou padrões, na maioria das vezes é caracterizada zonas de alta, média, baixa e instável, sendo que para alguns insumos e considerados atributos as zonas de alta são locais aonde terá a necessidade de colocarmos mais insumos, com isso aumentará o custo, mas retornarão maiores benefícios ao expressar o maior potencial produtivo e maior lucratividade, já zonas de baixa será o local de colocar menos insumos com isso o custo baixará, mas ainda ter-se-á menos risco com o menor potencial produtivo mais ainda gerando renda e lucratividade na área. Porém ao passar dos anos a necessidade de adaptarmos uma curva de resposta para cada zona (curva de rentabilidade), aonde nela ocorrerá informações de o quanto de insumos aplicados tara o melhor custo benefício regular o ponto de equilíbrio.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O trabalho foi realizado durante o ano agrícola de 2014/2015, na região central do Rio Grande do Sul, município de Júlio de Castilhos, numa propriedade localizada na latitude 29°03'56,9" S e longitude 53°32'36,2" O e altitude média de 408 metros. A área apresenta relevo suavemente ondulado e o clima da região é do tipo Cfa segundo a Classificação de Koeppen (MORENO, 1961). A temperatura média anual é de 18°C e a precipitação normal é de 1700 mm, apresentando períodos de deficiência hídrica durante o verão. O solo do local é classificado como um Argissolo Vermelho-Amarelo Alumínico úmbrico (EMBRAPA, 2013). A semeadura do milho (*Zea mays* L.) foi realizada no sistema plantio direto. Quando necessário foi realizado o controle das ervas daninhas e pragas. A área experimental possui sistema de irrigação por pivô central (15,1 ha) e o histórico dos cultivos e práticas culturais é apresentado na Tabela 1.

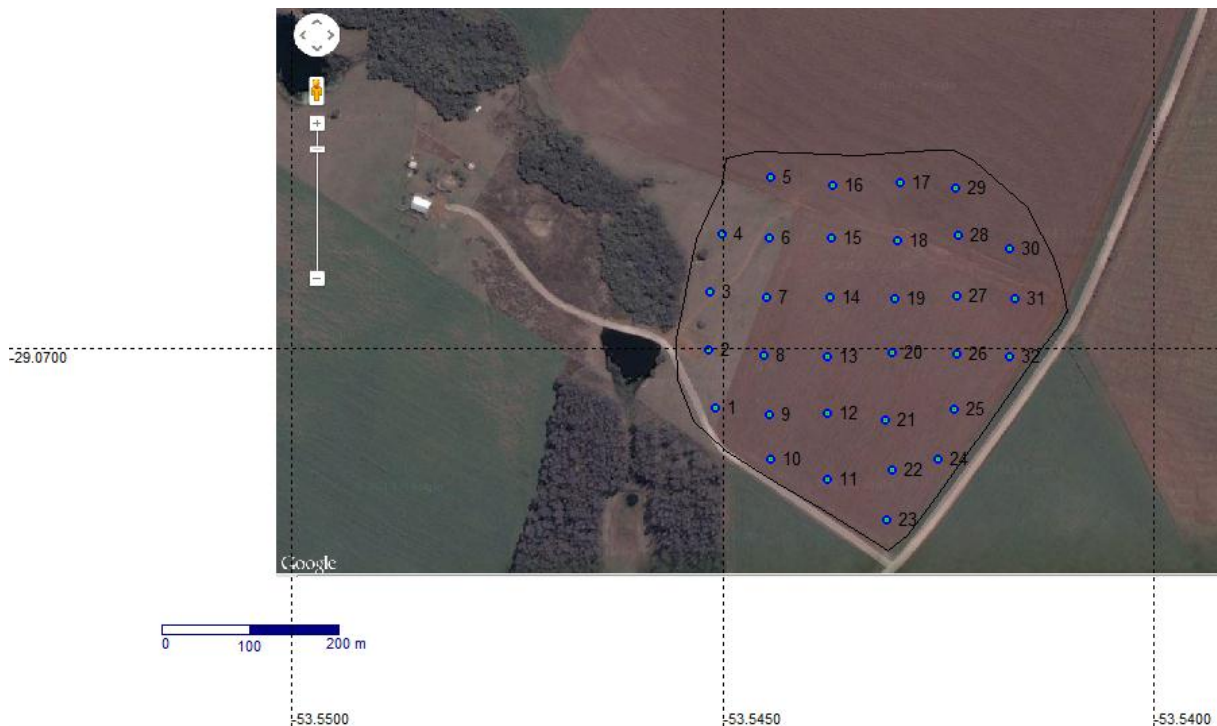
Tabela 1 – Histórico dos cultivos, práticas de adubação e correção realizadas na área de estudo.

Ano Agrícola	Safra	Cultura	Fonte	Quantidade (Kg.ha ⁻¹)	Modo de Aplicação
2010/11	Inverno	Aveia Branca	NPK 08-24-18	100	Linha
			Calcário Dolomítico	5000	Laço
	Verão	Soja	NPK 00-10-14	250	Linha
2011/12	Inverno	Aveia Preta	Sem Adubação	Sem Adubação	Sem Adubação
			Instalação Irrigação		
	Verão	Soja	NPK 11-24-10	200	Linha
			KCL (00-00-60)	100	Laço
2012/13	Inverno	Aveia Branca	Sem Adubação	Sem Adubação	Sem Adubação
			Verão	Milho	NPK 08-26-16
	Ureia (45-00-00)	450			Laço
2013/14	Inverno	Batata	NPK 08-14-10	3000	Linha
		Trigo	Sem Adubação	Sem Adubação	Sem Adubação
			Ureia Full (33-00-00 12S)	100	Laço
	Verão	Soja	Ureia (45-00-00)	100	Laço
			NPK 07-32-12	200	Linha
			KCL (00-00-60)	100	Laço
2014/15	Inverno	Nabo + Aveia	Calcário Dolomítico	2.500	Laço
		Branca	Sem Adubação	Sem Adubação	Sem Adubação
	Verão	Milho	MAP (11-52-00)	320	Linha
			KCL (00-00-60)	180	Laço
			Ureia (45-00-00)	500	Laço
2015/16	Inverno	Feijão	MAP (11-52-00)	120	Linha
			KCL (00-00-60)	100	Laço
			Ureia (45-00-00)	150	Laço

A área experimental vem sendo explorada a mais de 30 anos com a agricultura, sendo em 1997 adotou-se o sistema plantio direto e em 2009 uma parte da área experimental (Figura 1) mais precisamente entre os pontos (1, 2, 3, 4 e 6) foi realizada a abertura do campo nativo para a implantação do sistema plantio direto em virtude do fechamento do raio de giro do pivô de irrigação.

Primeiramente foi realizada a demarcação da área experimental com o auxílio de um GPS Garmin percorrendo o perímetro, e posteriormente aferido à área o grid amostral (0,5 ha) através do software CR Campeiro.

Figura 1 – Contorno e grade amostral dos pontos de realização das coletas de solo, massa seca da resteva e produtividade do milho da área experimental. Júlio de Castilhos. RS.



Fonte: Google Earth

4.2 VETORIZAÇÃO E COLETA DE DADOS

A área experimental foi constituída de 32 pontos de coleta de informações georreferenciadas com o software CR Campeiro (em forma de grade) e a localização dos pontos com a ajuda de um GPS Garmim. A avaliação da produção de massa seca de aveia branca (*Avena sativa* L.) + nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.), no inverno, antecedendo a

cultura do milho, foi constituída de amostra 0,25 x 0,25 m (0,0625 m²) em 3 sub-amostras entorno de 5 metros do ponto georreferenciado. As amostras foram secas em estufa de 65°C até peso constante e após pesadas em balança de precisão, expressando-se os resultados em kg.ha⁻¹.

A amostragem de solo foi realizada após o manejo (rolagem) da aveia branca+nabo forrageiro, na mesma malha amostral de 0,5 ha, com pá-de-corte em uma profundidade de 0-15 cm, totalizando 5 sub-amostras num raio de 5 m ao redor do ponto central. As amostras foram analisadas no Laboratório de Análise de Solos da CCGL (Cooperativa Central Gaúcha LTDA), em Cruz Alta, RS. Os atributos analisados foram: teor de argila, pH em água, fósforo (P) e potássio (K), cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), alumínio (Al³⁺), enxofre, manganês, cobre, zinco e boro, conforme procedimentos descritos por Tedesco et al. (1995).

A avaliação da produtividade de grãos de milho foi realizada na mesma malha amostral (0,5 ha), de forma manual, colhendo-se as espigas de 2 linhas de milho, espaçadas de 0,45 m e 3 m de comprimento (2,7 m²), com 3 sub-amostras num raio de 3m ao redor do ponto georreferenciado. As espigas foram secas em estufa de 65°C até peso constante, debulhadas e pesadas, expressando-se os resultados em kg.ha⁻¹ a 13% de umidade.

4.3 VETORIZAÇÃO DOS MAPAS

Utilizando-se dos 32 pontos de coleta de dados, foram gerados mapas de produção de massa seca da aveia branca+nabo forrageiro, produtividade de grãos de milho e altitude com software CR Campeiro. A grade amostral de 0,5 ha determinava uma distância entre pontos de aproximadamente 73 m de ponto a ponto. Para realização do mapa no software CR Campeiro foi utilizado o sistema de coordenadas geográficas. Após a entrada dos dados no programa foi usado um pixel de 2 m x 2 m, que dará a qualidade do mapa. O cálculo do raio de busca foi à soma da distância mais 2/3 (73+50=125 metros) e o interpolador o inverso do quadrado da distância, onde o valor estimado a partir de combinações lineares de seus vizinhos, com o peso dado pela distância que os separa das amostras (ponto amostrado não terá tanta interferência sobre os pontos de maior distância). Para o mapa de altitude a única alteração aos demais foi utilizado os dados de um GPS de pulverização com um raio de busca de 35 m correspondendo aos 21 m do comprimento da barra do pulverizador mais 2/3 (14 metros). Para os mapas de zonas de manejos foram relativizados os dados segundo os critérios propostos por Molin (2002) os pontos com valores iguais ou superiores a 105% da média geral de produtividade da lavoura constituíram a classe de alta produtividade, os pontos

com 95% a 105% da média constituíram a classe de média produtividade e os pontos com 95% ou menos que a média da lavoura, a classe de baixa produtividade, adaptado em 5 classes para identificar as zonas de transição entre as zonas de baixa menor 90% da média do rendimento relativo (RL); zona média-baixa 90-95% do RL; zona média 95-105% do RL; zona média-alta 105-110% do RL; e zona alta maior que 110% do RL. Para a zona de manejo dos atributos químicos do solo buscou os atributos que de maior expressividade no trabalho com as maiores correlações de Pearson para produtividade de milho e massa seca da resteva de aveia branca+nabo forrageiro, sendo eles o $\text{pH}_{\text{água}}$, argila, índice SMP, cálcio, magnésio, matéria orgânica, CTC pH_7 e saturação bases. Para definição da zona de manejo pela união dos dados de todas as variáveis observadas relativizadas sendo: dados de NDVI da soja e milho; massa seca da resteva de aveia branca+nabo forrageiro; produtividade grãos de milho; $\text{pH}_{\text{água}}$; argila; índice SMP; cálcio; magnésio; matéria orgânica; CTC pH_7 ; saturação bases e altitude.

4.4 OBTENÇÃO DAS IMAGENS DE SATÉLITE

As imagens de satélite foram obtidas e processadas através de metodologia desenvolvida pela Empresa GeoAgro (Argentina) que através de parceria com a Empresa Plantec Engenharia Agrônômica Ltda. de Vacaria, RS, disponibilizou mapas por ambiente da área experimental. O ponto de partida da metodologia GeoAgro, denominada Solução AP, é a confecção do mapa de produtividade, que com base em imagens de satélite e índices verde históricos, produz uma hipótese de zonas de manejo da área.

As imagens após processadas originam um mapa de produtividade que tem objetivo de determinar a variabilidade do local por análise de cluster de índice de vegetação mais difundida (NDVI). As imagens de satélites Landsat são georreferenciadas e possuem resolução espacial de 30 x 30 metros, sendo elas utilizadas para trabalhar com os recursos naturais (reconhecimento de cultura, riscos de água, relevo, e etc.). Para obtenção das imagens com as respectivas informações desejadas foi necessário enviar informações da área desejada (contorno ou pontos georreferenciados) e o intervalo de cultivo de cada cultura desejada (Tabela 2). Para o experimento foram coletadas informações de 21 imagens de satélites, as quais representam as diferentes fases do desenvolvimento das culturas utilizadas nas últimas safras. Entretanto, foram usadas somente 2 imagens para formar a zona de manejo, as quais representaram, segundo critérios adotados pela Empresa GeoAgro através de análises a maior

expressão da variabilidade, que foram as imagens dos dias 19/01/2014 e 05/12/2014, respectivamente, nas culturas de soja 2013/2014 e milho 2014/2015.

Tabela 2 – Informações de manejo das culturas enviadas a empresa GeoAgro para análise.

Cultura	Data Semeadura	Data Colheita
Trigo Nitron 6219	17/07/13	25/11/13
Soja 6029 Pro I	26/11/13	28/04/14
Milho Pioneer P1630 Hx	19/08/14	22/01/15
Feijão Irapuru	23/01/15	07/04/15

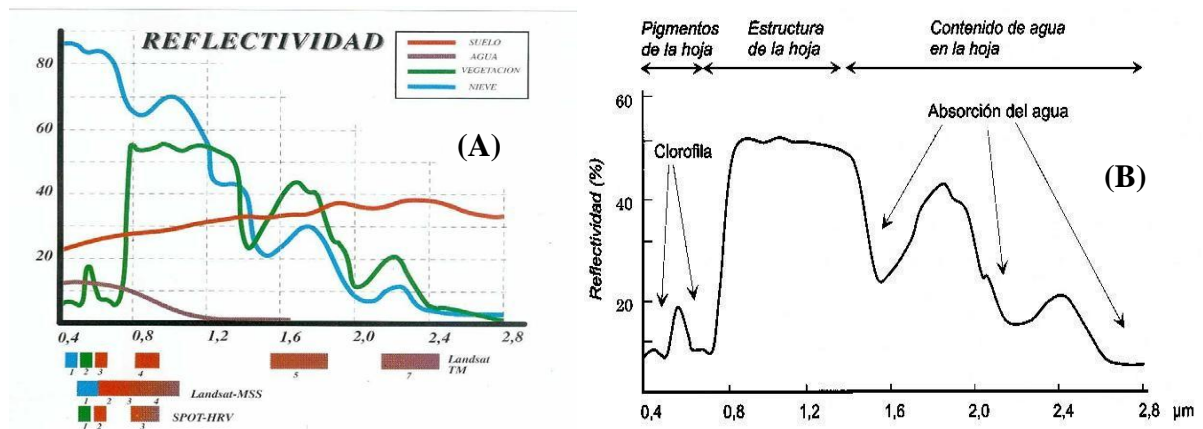
Fonte: autor

Conforme metodologia adotada por Wikiagro (2016), a refletância da vegetação por diferença normalizada index (NDVI) é uma boa medida da atividade fisiológica das plantas, e também em estudos empíricos tem entre 85 e 90% de correlação com o rendimento das culturas. Ela é definida como:

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

onde p1 (Banda infra vermelho) e p2 (Banda Vermelho) são as refletâncias obtidos a partir do canal de radiancias medida próximo infravermelho e vermelho, no caso particular da série landsat são as bandas 4 e 3. Uma dessas ondas emitidas é o índice normalizado diferença de vegetação (NDVI) é obtida através do processamento de imagens de satélite que caracteriza a situação fotossintética das culturas marcando as diferenças entre a vegetação. As imagens de satélites Landsat possuem 11 bandas espectrais (que variam conforme o comprimento da onda emitida pela lente do satélite e o comprimento de onda refletido pela cultura) nesse caso o comprimento de onda na banda vermelho (p2 = 650 nanômetro) e banda infra vermelho (p1 = 700 nanômetro a 0,01 centímetro) não visíveis a olho nú porque o olho humano possui um comprimento menor (400 a 700 nanômetros), com isso se utiliza a formula matemática do NDVI como uma estratégia de calculo do sensor para entregar de forma nítida a visualização e interpretação humana as variabilidades através do calculo NDVI pela situação fotossintética das culturas marcando as diferenças entre a vegetação. Sendo possível a aquisição de novas imagens a cada 16 dias que é o tempo demorado para o satélite dar a volta a terra e voltar ao mesmo ponto.

Figura 2 – Comportamento espectral dos elementos (A) e análise da resposta espectral da vegetação saudável (B).



Fonte: Wikiagro (2016).

OS valores de NDVI variam de -1 a 1 de modo que, quanto mais próximo de 1 maior o vigor de desenvolvimento da cultura (GROHS et al., 2011). Isso facilita a sua classificação como menores valores de 0,2 a atividade foliar é baixa e mais elevada valoriza 0,4 vegetação está em um estado de grande força, outro exemplo de como se interpreta os dados e observando o valor resultante da relação: resultado for negativo (-) não caracterizado como cultura e sim como pedra, cascalho ou concreto; resultado for positivo (0 a +1) indica como uma cultura ou vegetação (exemplo: refletância na cultura da soja de 0,3 a 0,4 baixo; 0,5 a 0,7 médio; e 0,8 a 0,9 alto). E por isso que pode se dividir em classes de muito baixa a muito alta a produtividade denominando-se como o mapa de produtividade por estar diretamente relacionado à quantidade, qualidade e desenvolvimento da vegetação.

4.5 TRATAMENTO DOS DADOS

O tratamento dos dados obtidos a campo foi através do programa CR Campeiro (GIOTTO et al., 2004) na geração dos mapas da produção de massa seca da aveia branca+nabo forrageiro, atributos químicos do solo, produtividade de grãos de milho, altitude da área e zonas de manejo. Já as imagens de satélite e zonas de manejo foram realizados por programas da Empresa GeoAgro (Software GIS). Além da geração dos mapas o software CR Campeiro foi utilizado para a realização da análise estatística descritiva 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

e a análise estatística descritiva correspondente aos parâmetros geoestatísticos dos atributos químicos do solo (valores de efeito pepita - Pp, patamar - Pt, alcance - Ac - referentes a diferentes modelos de semivariograma e dependência espacial: Grau de Dependência Espacial - GD - e Classe - C e coeficiente de correlação - r^2). O teste de correlação de Pearson 1 - 5% de probabilidade erro utilizando o programa estatístico *Statistical Analysis System* (SAS). Sendo outros programas utilizados para melhor visualização das informações como o programa GPS TrackMaker e o Google Earth.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO, PRODUÇÃO DE MASSA SECA E PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DE MILHO

Ao observar a variabilidade espacial a campo é necessário realizar uma análise estatística dos atributos para entender melhor o que cada valor pode expressar e relacionar um com os outros. Estatística descritiva tem por objetivo descrever a realidade observada (população ou amostra), usando métodos numéricos, gráficos e realizando comentários simples de maneira mais informativa possível, sendo essas expressas como medidas descritivas de: média, valores máximos, mínimos, desvio padrão, coeficiente de variação, erro, valores de efeito pepita, patamar, alcance, grau de dependência espacial, classe e coeficiente de correlação, devendo ser realizada antes da modelagem variográfica para possíveis ajustes da variação.

Os variogramas expressam o comportamento espacial da variável regionalizada ou de seus resíduos e demonstra o tamanho da zona de influência em torno de uma amostra, a variação nas diferentes direções do terreno, indicando também continuidade da característica estudada no terreno (LANDIM, 1998). Por isso pode-se citar nos variogramas (semivariograma): o alcance (A_c) que é a distância, dentro da qual, as amostras apresentam-se correlacionadas espacialmente. Segundo (VIEIRA, 2000) o alcance (A_c) representa a distância limite de dependência espacial, sendo que variáveis localizadas a distâncias maiores que os valores de alcance têm distribuição espacial considerada aleatória e, por isso, são independentes entre si. Deste modo, o alcance pode ser usado para determinar a distância adequada entre amostras para que se obtenham dados confiáveis (VIEIRA, 2000); o patamar (P_t) é o valor do variograma correspondente a seu alcance (A_c) desse ponto em diante, considera-se que não existe mais dependência espacial entre as amostras, porque a variância da diferença entre pares de amostras torna-se invariante com a distância; efeito Pepita (P_p) caracterizado como o erro; e a contribuição é a diferença entre o patamar (P_t) e o efeito pepita (P_p).

Na Tabela 3 são apresentados os resultados obtidos a partir da análise da estatística descritiva dos atributos químicos do solo da área experimental. A discrepância entre os valores mínimos e máximos entre os atributos comprovam a existência de grande variabilidade na área.

Segundo a classificação de Gomes e Garcia (2002) a variabilidade de um atributo pode ser avaliada pela ordem de grandeza do coeficiente de variação (CV%), classificada como: a) baixa ($CV \leq 10\%$), b) média ($10\% < CV \leq 20\%$), c) alta ($20\% < CV \leq 30\%$) e d) muito alta ($CV > 30\%$). Pela análise descritiva dos atributos químicos (Tabela 3), o fósforo, a saturação por alumínio, enxofre, alumínio, manganês, cobre e o zinco foram as variáveis que obtiveram os maiores valores em coeficiente de variação classificado com muito alta ($CV > 30\%$), já as variáveis argila, pH H_2O , matéria orgânica, SMP e CTC $pH 7$ obtiveram o menor valor de coeficiente de variação classificado baixa ($CV \leq 10\%$).

Tabela 3 – Análise estatística descritiva correspondente aos valores mínimos (Mn), máximos (Mx) e médios (Mm), desvio padrão (S), coeficiente de variação (CV, %) e Erro (%) referentes aos atributos químicos do solo da área experimental - coleta 2014. Júlio de Castilhos, RS.

Atributo	Parâmetros estatísticos					
	Mn	Mx	Mm	S	CV	Erro
Argila (%)	36,00	55,99	50,35	3,93	7,81	2,75
pH H_2O (1:1)	4,60	5,80	5,31	0,28	5,25	1,85
Fósforo ($mg.dm^{-3}$)	10,31	81,38	42,82	18,16	42,46	14,95
Potássio ($mg.dm^{-3}$)	86,01	246,96	147,45	38,26	25,80	6,37
Matéria Orgânica (%)	2,80	4,10	3,44	0,31	8,98	2,22
Produção de Milho ($kg.ha^{-1}$)	9380,85	15262,71	12765,00	25,18	11,85	4,17
Produção Massa Seca ($kg.ha^{-1}$)	4267,79	14611,19	10306,23	2902,64	22,22	9,89
Saturação por Alumínio (%)	1,30	19,99	4,13	4,63	130,14	45,81
Saturação por Base (%)	33,01	73,99	58,86	9,39	16,00	5,63
H + Al ($cmol_c.dm^{-3}$) ⁽¹⁾	3,50	9,69	4,83	1,33	27,48	9,68
Índice SMP	5,30	6,20	5,94	0,21	3,50	1,23
CTC a pH 7,0 ⁽²⁾	10,10	14,50	11,69	0,90	7,70	2,71
Cálcio ($cmol_c.dm^{-3}$)	3,30	6,60	4,90	0,85	17,33	6,10
Magnésio ($cmol_c.dm^{-3}$)	0,90	3,10	1,57	0,44	27,59	9,71
Alumínio ($cmol_c.dm^{-3}$)	0,10	1,20	0,26	0,27	116,96	41,17
Enxofre ($mg.dm^{-3}$)	6,40	35,09	16,56	6,72	40,57	14,28
Manganês ($mg.dm^{-3}$)	7,00	40,99	24,39	7,32	30,23	10,64
Cobre ($mg.dm^{-3}$)	1,40	6,10	3,80	1,19	31,87	11,22
Zinco ($mg.dm^{-3}$)	1,80	9,39	4,82	1,50	31,44	11,07
Boro ($mg.dm^{-3}$)	0,30	0,60	0,47	0,11	23,83	8,39

(1) Hidrogênio + Alumínio. (2) CTC: Capacidade de Troca de Cátions.

Para a análise descritiva do erro a variável saturação por alumínio e alumínio trocável obteve-se altos valores de erro o que pode-se associar a algum possível erro na amostragem de

solo ou uma possível intervenção no local de coleta. Parte desta descontinuidade pode ser também devida a erros de medição Isaaks e Srivastava (1989).

Para interpretar diretamente a variância observa-se os valores de desvio padrão (S) indicando onde a variância está mais distribuída entre os atributos, com isso pode-se visualizar os atributos fósforo, potássio, produtividade do milho e massa seca da aveia branca+nabo forrageiro com os maiores índices de desvio padrão, índices esses que demonstram a dificuldade de poder relacionar atributos químicos e de produção entre si pela sua alta variância encontrada. Também na tabela 3 são observados os valores mínimos (Mn), máximos (Mx) e médios (Mm) dos atributos químicos do solo na área experimental.

Tabela 4 – Análise estatística descritiva correspondente aos parâmetros geoestatísticos (valores de efeito pepita - Pp, patamar - Pt, alcance - Ac - referentes a diferentes modelos de semivariograma e dependência espacial: Grau de Dependência Espacial - GD - e Classe - C, coeficiente de correlação - r^2) referentes aos atributos químicos do solo da área experimental - coleta 2014. Júlio de Castilhos, RS.

Atributo	(Pp)	(Pt)	(Ac)	Modelo	Dependência		r^2
					GD	C	
Argila (%)	6,70	15,42	300	Esférico	43,41	Moderada	0,99
pH _{H2O} (1:1)	0,03	0,08	300	Exponencial	43,38	Moderada	0,99
Fosforo (mg.dm ⁻³)	175,30	329,70	200	Exponencial	53,17	Moderada	0,90
Potássio (mg.dm ⁻³)	667,57	1464,03	300	Exponencial	45,6	Moderada	0,96
Matéria Orgânica (%)	0,04	0,09	300	Gaussiano	45,3	Moderada	0,99
Produção de Milho (kg.ha ⁻¹)	262,03	634,20	300	Exponencial	41,32	Moderada	0,99
Produção Massa Seca (kg.ha ⁻¹)	3357484,6	8425355,0	400	Exponencial	39,85	Moderada	0,96
Saturação por Alumínio (%)	8,62	21,47	300	Exponencial	40,15	Moderada	0,59
Saturação por Base (%)	38,18	88,29	300	Exponencial	43,25	Moderada	0,99
H + Al (cmol _c .dm ⁻³) ⁽¹⁾	0,74	1,78	300	Exponencial	41,87	Moderada	0,95
Índice SMP	0,02	0,04	300	Exponencial	43,67	Moderada	0,99
CTC _{pH 7} ⁽²⁾	0,30	0,81	300	Expon./Esférico	37,22	Moderada	0,99
Cálcio (cmol _c .dm ⁻³)	0,31	0,72	300	Exponencial	42,68	Moderada	0,99
Enxofre (mg.dm ⁻³)	18,25	45,19	300	Esférico	40,39	Moderada	0,92
Alumínio (cmol _c .dm ⁻³)	0,023	0,02	300	Exponencial	39,59	Moderada	0,62
Magnésio (cmol _c .dm ⁻³)	0,07	0,10	400	Exponencial	34,59	Moderada	0,95
Manganês (mg.dm ⁻³)	21,11	53,56	400	Exponencial	39,38	Moderada	0,95
Cobre (mg.dm ⁻³)	0,45	1,42	300	Exponencial	31,06	Moderada	0,96
Zinco (mg.dm ⁻³)	0,78	2,26	300	Exponencial	34,43	Moderada	0,94
Boro (mg.dm ⁻³)	0,01	0,01	100	Exponencial	47,64	Moderada	0,95

(1) Hidrogênio + Alumínio. (2) CTC: Capacidade de Troca de Cátions.

Na Tabela 4 são apresentados os valores da análise estatística descritiva correspondente aos parâmetros geoestatísticos na teoria das variáveis regionalizadas (variação dos valores de um ponto ao outro), estudo esse da representação estrutural do tipo de variável para a resolução de problemas de estimativa, com base em dados experimentais. Todos os valores apresentados possuem dependência espacial. Os melhores modelos ajustados para cada variável pelo semivariograma no programa CR-Campeiro foram o esférico (distância entre os pares de pontos considerados podem ser $<$ ou \geq ao alcance), exponencial (atinge o patamar curva decrescente com o alcance definido 95 % do patamar) e gaussiano (atinge o patamar assintoticamente com uma subida abrupta na contribuição até chegar a 95 % do patamar). Em relação ao efeito pepita observou valores altos para as variáveis fósforo (175,31), potássio (667,57), produção de grãos de milho (262,03), produção de massa seca (3357484,6), saturação por bases (38,18), enxofre (18,25) e manganês (21,11). Alguns autores afirmam que o fato dele ocorrer pode estar associado a algum erro de medição (VIEIRA, 1988). Trangmar et al. (1985) sugeriram o uso da % da variância do efeito pepita para mensurar a dependência espacial (IDE), sendo que Cambardella et al (1994) propuseram os seguintes intervalos para avaliar a % da variância do efeito pepita: $IDE \leq 25\%$ do GD = classe forte dependência espacial; $25\% \leq IDE \leq 75\%$ do GD = classe moderada dependência espacial; e $\geq 75\%$ do GD = classe fraca dependência espacial. Na análise estatística o índice de dependência espacial classificou-se na classe moderada variando o grau de dependência espacial (GD) entre $25\% \leq IDE \leq 75\%$ de todas as variáveis.

Para o coeficiente de correlação obteve-se valores consideráveis fidedignos dos parâmetros estatísticos e geoestatísticos, aonde ao relacionarmos os valores de coeficiente de correlação (r^2) da tabela 4 com os valores de coeficiente de variação (CV %) da tabela 3 entre os atributos observa-se: o fósforo com 42,46 de CV % e $r^2=0,90$, o potássio 25,80 de CV % e $r^2=0,96$, a massa seca 28,10 de CV % e $r^2=0,9585$, a saturação por alumínio possui 130,14 o CV % e $r^2=0,59$, o enxofre 40,57 de CV% e $r^2=0,92$, alumínio 116,96 de CV% e $r^2=0,62$.

5.2 CORRELAÇÃO DE PEARSON DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO, PRODUÇÃO DE MASSA SECA DE AVEIA BRANCA+ NABO FORRAGEIRO PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DE MILHO E NDVI

A correlação é um parâmetro para sumarizar a relação entre duas variáveis, sendo ela positiva quando ambas as variáveis possuem relação de sinergismo, ou seja, ambas variáveis

umentam significativamente quando alterado o valor da outra; e negativa quando as variáveis possuem relação de antagonismo, ou seja, uma aumenta e a outra diminui.

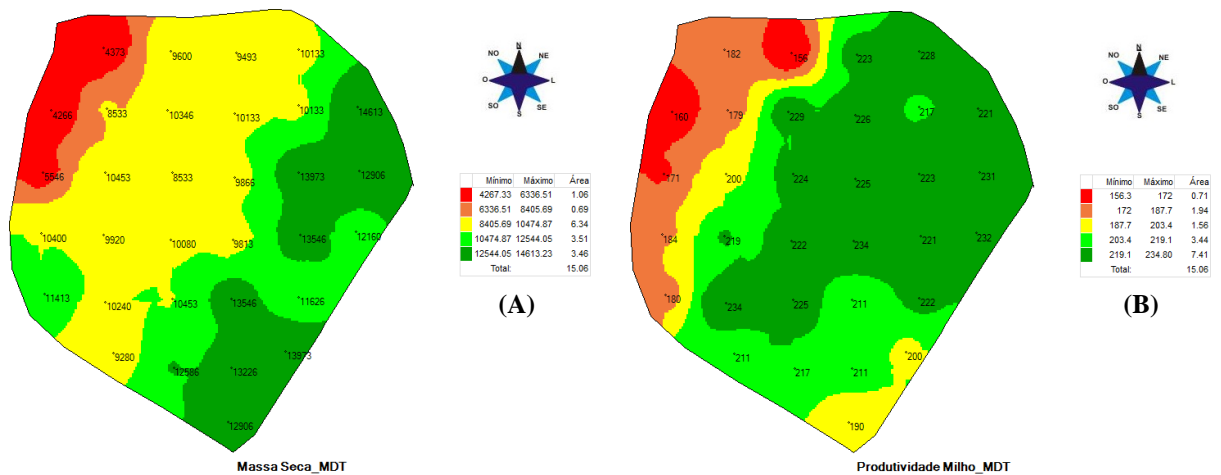
Na Tabela 5 a análise de correlação foi significativa ao nível de 1 a 5% de probabilidade de erro estimada para a produtividade do milho positiva para argila (0,42), saturação de bases (0,47), cálcio (0,59), índice SMP (0,35), magnésio (0,37), NDVI soja (0,63) e NDVI milho (0,52). O NDVI apresenta ótima correlação linear com a biomassa da vegetação em casos que o terreno apresente boa cobertura vegetal (MENESES e ALMEIDA, 2012; DEGHAID et al., 2013), assim como as plantas de cobertura do solo; e correlação negativa para saturação por alumínio (-0,47), enxofre (-0,68), alumínio (-0,44), manganês (-0,47) e hidrogênio + alumínio (-0,36). Amado et al. (2007), estudando a variabilidade espacial e temporal da produtividade de culturas, concluíram que o milho foi mais eficiente para comprovar a variabilidade espacial existente na lavoura em relação a soja. Segundo Cabon (1996), a genética e as relações com fatores do meio, especialmente a água e a temperatura, podem explicar as diferenças no comportamento da planta, quanto à composição química e ao crescimento. O potencial produtivo de uma cultura pode ser definido como o rendimento apresentado por ela quando cultivadas em ambientes ao qual estão adaptadas, sem limitações de nutrientes e sem estresses bióticos e abióticos (ARGENTA et al., 2003).

Segundo Balbinot Jr. et al. (2005), a produtividade de grãos de milho é determinada pela densidade de plantas, número de espigas por planta, número médio de fileiras de grãos por espiga, número médio de grãos por fileira e massa média do grão. Segundo Shanahan et al. (2000) observaram que a produtividade respondeu previsivelmente com a variação da população de plantas de milho. Em razão da grande variabilidade observada na produção de grãos, é importante para a ampliação e aplicação das técnicas da agricultura de precisão quantificar a estrutura espacial dessa variabilidade (COELHO, 2003).

A produção de massa seca de aveia branca+nabo forrageiro apresenta correlação significativa ao nível de 1 a 5% de probabilidade de erro estimada (tabela 5) positiva com matéria orgânica (0,34), Índice SMP (0,37), CTC à pH 7 (0,34) e magnésio (0,35). A camada compactada pode constituir-se obstáculo ao livre crescimento de raízes, modificando a dinâmica da água, restringindo sua disponibilidade, além de reduzir a aeração do solo (KHAN et al., 2000). Embrapa (2006), que cita o milho como uma das culturas que demanda muita água e, assim, produz grande quantidade de matéria seca por unidade de água absorvida. Já para outras variáveis a massa seca apresentou análise de correlação linear de Pearson negativa como enxofre (-0,34), manganês (-0,39), cobre (-0,43) e zinco (-0,34). A produção de matéria seca das espécies utilizadas para cobertura do solo depende de inúmeras condições, como as

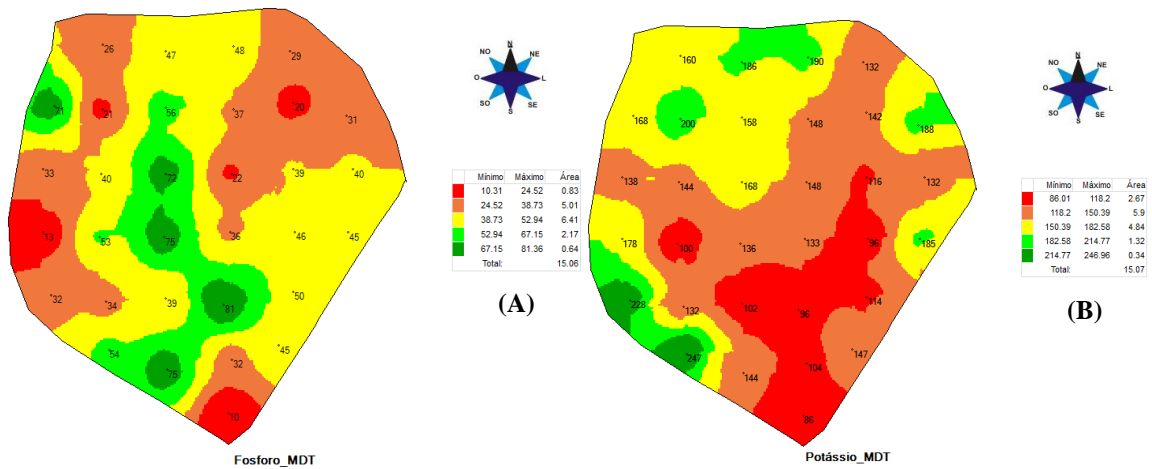
edafoclimáticas, fitossanitárias, de práticas de manejo, e em grande parte da agressividade do sistema radicular (CARVALHO et al., 2013).

Figura 3 – Produção de massa seca de aveia branca+nabo forrageiro $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (A) e produtividade de grãos de milho $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (B) da área experimental. Júlio de Castilhos, RS.



Análise de correlação linear de Pearson não foi significativa ao nível de 1 a 5% de probabilidade de erro estimada para a variável fósforo (tabela 5). Stafford et al. (1996), analogamente, investigaram a relação entre a variação dos teores de nutrientes do solo e a variação na produtividade de um determinado ano, sem que fossem detectadas dependências significativas. Para a variável potássio, as correlações positivas foram enxofre (0,45), manganês (0,48). Já a correlação negativa do potássio para matéria orgânica (-0,39), saturação por base (-0,35), cálcio (-0,50), magnésio (-0,42) e NDVI soja (-0,51). Valores exportados de nutrientes por tonelada de grãos produzida, segundo proposição da Comissão (2004) sendo para a cultura da soja 14 kg de P_2O_5 Mg^{-1} de grãos e 20 kg de K_2O Mg^{-1} de grãos, para a cultura do trigo: 10 kg de P_2O_5 Mg^{-1} de grãos e 6 kg de K_2O Mg^{-1} de grãos e para a cultura do milho 8 kg de P_2O_5 Mg^{-1} de grãos e 6 kg de K_2O Mg^{-1} de grãos.

Figura 4 – Variabilidade espacial do Fósforo (A) e Potássio (B) da área experimental. Júlio de Castilhos, RS.



Para interpretar diretamente a variância observa-se os valores de desvio padrão (S) indicando onde a variância está mais distribuída entre os atributos, com isso pode-se visualizar os atributos fósforo, potássio, produtividade do milho e massa seca da resteva com os maiores índices de desvio padrão, índices esses que demonstram a dificuldade de poder relacionar atributos químicos e de produção entre si pela sua alta variância encontrada.

Para a variável matéria orgânica obteve correlação positiva entre massa seca (0,34) e cálcio (0,39). Já a correlação negativa da matéria orgânica entre outros atributos foi entre enxofre (-0,42), manganês (-0,37) e cobre (-0,41).

Obteve se correlação significativa ao nível de 1 a 5% de probabilidade de erro estimada (tabela 5) para a variável $pH_{\text{água}}$ positiva entre produtividade de milho (0,40), saturação por base (0,93), SMP (0,91), cálcio (0,78) e manganês (0,78). Já a correlação negativa do pH com a saturação por alumínio (-0,87), H + Al (-0,88), enxofre (-0,42), alumínio (-0,88) e manganês (-0,66).

Visando relacionar o potencial produtivo com as propriedades do solo, especialmente pH, matéria orgânica, teor de água disponível no solo e posições no relevo, Mulla e Schepers (1997) dividiram um campo em unidades de baixa, média e alta produtividade. Esses autores consideraram, porém um único evento de colheita que por sua vez não proporcionou em áreas de produtividade média e elevada, diferenças significativas quando da correlação da produtividade com os atributos de solo analisados.

Tabela 5 – Matriz de correlação simples de Pearson entre os atributos químicos do solo, produção de massa seca de aveia branca+nabo forrageiro, produtividade de grãos de milho e NDVI, safra 2014. Júlio de Castilhos – RS.

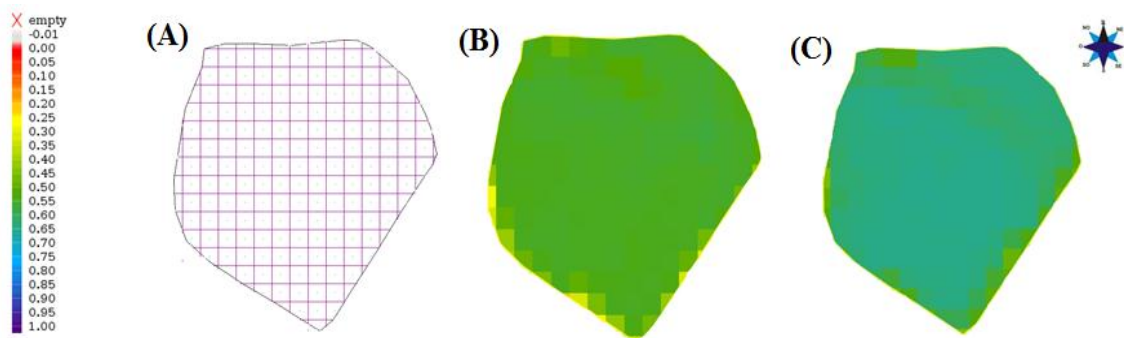
	Argila	pH _{água}	P	K	M O	Prod. Milho	Massa Seca	Sat. Al	Sat. Bases	H+Al	Índice SMP	CTC _{pH7}	Ca	S	Al	Mg	Mn	Cu	Zn	B	NDVI Soja	NDVI Milho	
Argila	1																						
pH_{água}		1																					
P⁽¹⁾			1																				
K⁽²⁾			ns	1																			
MO⁽³⁾				-0.39*	1																		
Prod. Milho	0.42*	0.40*			0.34*	1																	
Massa Seca							1																
Sat. Al⁽⁴⁾		-0.87**				-0.47*		1															
Sat. Bases⁽⁵⁾		0.93**		-0.35*		0.47**		-0.92**	1														
H+Al⁽⁶⁾		-0.88**				-0.36*		0.94**	-0.95**	1													
Índice SMP		0.91**				0.35*		-0.91**	0.97**	-0.98**	1												
CTC_{pH7}⁽⁷⁾							0.37*	0.41*		0.51**	-0.45*	1											
Ca⁽⁸⁾		0.78**		-	0.39*	0.59**	0.34*	-0.77**	0.89**	-0.73**	0.76**		1										
S⁽⁹⁾		-0.42*		0.45**	-0.42*	-0.68**	-0.34*	0.46*	-0.45*	0.36*	-0.35*		-0.60**	1									
Al⁽¹⁰⁾		-0.88**				-0.44*		0.99**	-0.92**	0.95**	-0.92**	0.42*	-0.75**	0.43*	1								
Mg⁽¹¹⁾		0.78**		-0.42*		0.37*	0.35*	-0.65**	0.80**	-0.65**	0.70**		0.81**		-0.66**	1							
Mn⁽¹²⁾		-0,66**		0.48**	-0.37*	-0.47**	-0.39*	0.60**	-0.61**	0.49**	-0.50**		-0.68**	0.54*	0.58**	-0.73**	1						
Cu⁽¹³⁾					-0.41*		-0.43*					-0.44*					0.55**	1					
Zn⁽¹⁴⁾							-0.34*					-0.40*				-0.35*	0.40*	0.73**	1				
B⁽¹⁵⁾																				1			
NDVI Soja				-		0.51**	0.63**						0.365*	-0.51**			-0.37*	-0.42*			1		
NDVI Milho							0.52**															0.78**	1

Significativo *($p \leq 0,05$) e **($p \leq 0,01$); (ns) não significativo. (1) Fósforo; (2) Potássio; (3) Matéria Orgânica; (4) Saturação Alumínio; (5) Saturação por Bases; (6) Hidrogênio + Alumínio; (7) CTC_{pH7} Capacidade de Troca de Cátions; (8) Cálcio; (9) Enxofre; (10) Alumínio; (11) Magnésio; (12) Manganês; (13) Cobre; (14) Zinco; (15) Boro.

5.3 DEFINIÇÃO DE ZONAS DE MANEJO ATRAVÉS IMAGENS DE SATÉLITES

Ao ter as diferentes camadas definidas como padrão pode-se agrupa-las (análise de cluster), o que nos leva a obter uma síntese da informação apresentada no mapa de produtividade. A imagem composta foi classificada de acordo com o método de classificação não supervisionada implementado no módulo cluster, que é uma variante especial de uma técnica de análise de agrupamento de Picos de Histograma por Eastman (1999, apud RICHARDS, 1993).

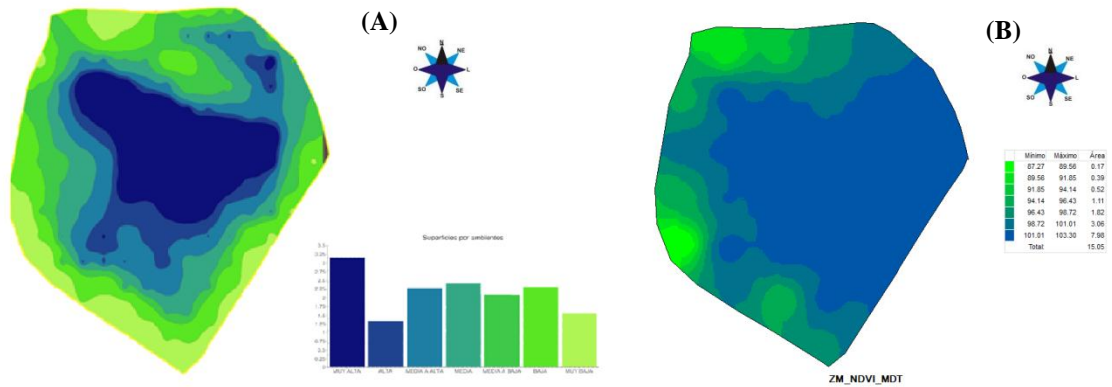
Figura 5 – Quadricula utilizada na padronização das imagens de satélite (A) e os respectivos mapas de NDVI fornecida pela empresa GeoAgro na cultura do milho em 05/12/2014 (B) e na cultura da soja em 19/01/2014 (C) da área experimental. Júlio de Castilhos, RS.



Após identificado da relação de variação da imagem do satélite é possível realizar um mapa de produtividade ou zona de manejo (figura 6 - A) entre diferentes imagens geradas com o mesmo desempenho vegetal ou com diferentes índices, sendo gerado individualmente zonas de alto ou baixo desempenho realizada pela GeoAgro. Também foi gerado zona de manejo pelo rendimento relativo no programa CR Campeiro em grid amostral (dividida em 7 classes para comparação com a zona da GeoAgro) a partir das mesmas imagens de satélites (figura 6 - B).

Santos et al. (2001) reforçam a ideia de que um único ano safra de milho, não deve ser usado 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.

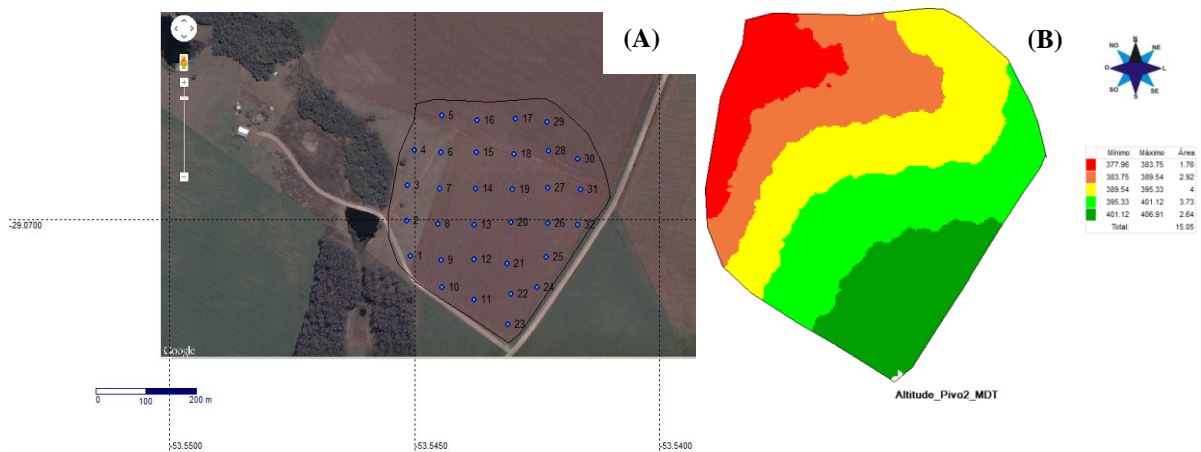
Figura 6 – Definição da zona de manejo fornecida pela empresa GeoAgro (A) e zona de manejo pelo rendimento relativo em grid amostral pelo CR Campeiro (B). Júlio de Castilhos, RS.



5.4 DEFINIÇÃO DE ZONAS DE MANEJO ATRAVÉS ALTITUDE

Como pode-se observar (Figura 7) o contorno, grade amostral e definição de zona de manejo pela altitude, observar-se (figura 7 – A) que entre os pontos (05, 06, 16, 15, 18, 28, 27, 30 e 31) destaca-se um fluxo preferencial de água da área experimental, devido ao deslocamento de água proveniente da estrada. Li et al. (2001), os quais verificaram menores produtividade de algodão e menor absorção de nitrogênio em posições mais elevadas da paisagem, onde os solos exibiram maior suscetibilidade de perda de água e nutrientes por erosão.

Figura 7 – Contorno e grade amostral dos pontos de amostragem (A) e definição da zona manejo pela altitude (B) da área experimental. Júlio de Castilhos, RS.



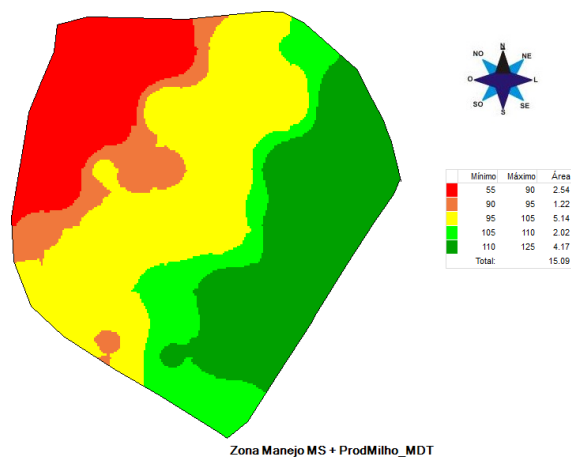
Portanto, o mapa temático de altitude observa-se curvas de nivelamento da altitude caracterizando esse fluxo preferencial de água, servindo como ferramenta alternativa para discussões e observações na variabilidade das zonas de manejo. Conforme Mulla e Bhatti (1997), geralmente as sub-regiões delimitadas por classes de produtividade associaram-se a diferentes posições no relevo.

Na zona de baixa produtividade houve a diminuição na altitude, demonstrando que ha diferença da altitude com as zona de média produtividade e alta produtividade. A maior sensibilidade dessas zonas pode estar atribuída a limitações nas taxas de infiltração de água no solo (Santi et al., 2012).

5.5 DEFINIÇÃO ZONAS DE MANEJO ATRAVÉS MASSA SECA E PRODUTIVIDADE DE MILHO

A principal aplicação dos mapas é melhorar a produtividade no conhecimento da variabilidade das áreas com informações georeferenciadas, possibilitando de alguma forma que possa ser realizada a recomendação e aplicação de produtos da forma mais eficiente possível e no local correto. Após a eliminação de dados irreais, para o estudo da variabilidade espacial e temporal, os dados foram relativizados por classes de produtividade na definição da zona de manejo da massa seca e produtividade de milho (Figura 8), segundo os critérios propostos por Molin (2002) permitindo relativizar a produtividade.

Figura 8 – Definição da zona manejo pela média do rendimento relativo da massa seca da aveia branca+nabo forrageiro e produtividade de grãos de milho da área experimental. Júlio de Castilhos, RS.

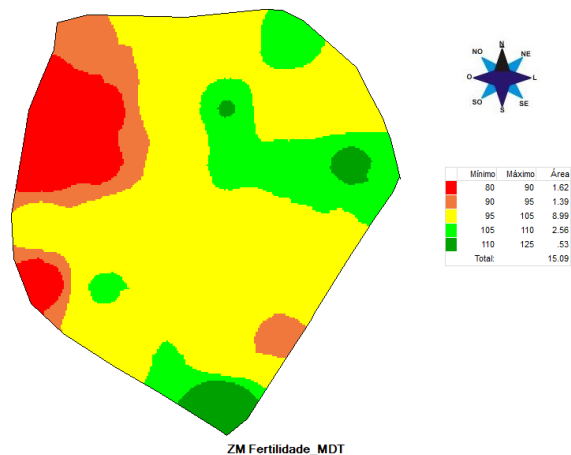


O mapa de produtividade é uma excelente ferramenta para a compreensão da variabilidade da unidade de massa ou de gestão a partir de técnicas de informação. Conforme Santi (2007, apud CORASSA, 2015, p. 32), por sua vez definiram zonas a partir da análise sequencial de três e seis mapas de colheita, respectivamente, porém de culturas alternadas, assim como Horbe et al. (2013) que definiram zonas de produtividade a partir de sete mapas de soja e dois de milho.

5.6 DEFINIÇÃO DE ZONAS DE MANEJO ATRAVÉS ATRIBUTOS QUÍMICOS

A definição de ambiente começa em um determinado ano, mas é um processo que permite a melhoria contínua especialmente no final da primeira temporada com a obtenção de mapas. Após o estudo da variabilidade espacial e temporal, os dados foram relativizados por classes de produtividade (rendimento relativo) e foi definido a zona de manejo dos atributos químicos do solo (Figura 9), segundo os critérios adaptados propostos por Molin (2002).

Figura 9 – Definição da zona manejo pela média do rendimento relativo dos atributos químicos do solo da área experimental. Júlio de Castilhos, RS.

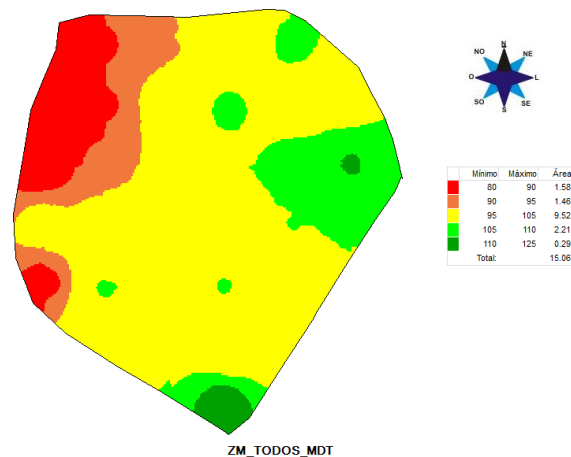


5.7 DEFINIÇÃO DA ZONA DE MANEJO PELA UNIÃO DOS DADOS

A definição da zona de manejo pela união dos dados das variáveis observadas relativizadas (Figura 10), são unidades agrupadas por possuírem o mesmo desempenho. Sendo assim com poucas amostras localizadas na zona, pode-se representar a variabilidade dentro da amostra homogênea (podendo usar uma média). Deste modo, Trabachini et al.

(2009) definiram zonas de produtividade a partir de três mapas sequenciais de milho safrinha, enquanto que Milani et al. (2006) utilizaram cinco mapas sequencias da cultura da soja.

Figura 10 – Definição da zona manejo pelos dados relativizados NDVI soja e milho; massa seca; produtividade de grãos milho; pH_{água}; argila; índice SMP; cálcio; magnésio; matéria orgânica; CTC pH₇; saturação bases; e altitude. Júlio de Castilhos, RS.



Os resultados descritos atualmente na literatura enfatizam, portanto, que para a definição de zonas de produtividade a utilização de vários mapas temáticos é fundamental (AMADO; SANTI, 2011; EITELWEIN, 2013; HORBE et al., 2013; SANTI et 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).

Com âmbito geral de interpretação do mapa de zona de manejo podemos visualizar que ao unir vários arquivos relativizados em um único mapa temático mantém-se caracterizado a zona de baixa produtividade bem definida em todos os mapas apresentados, já as zonas de transição para as zonas de média a alta variam conforme se acrescentam dados, com isso estabilizou a zona de média e diminuiu a zona de alta produtividade.

5.8 CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE DIFERENTES METODOS DE ZONAS DE MANEJO

A correlação de Pearson é um parâmetro estatístico que permite sumarizar a relação entre as variáveis avaliadas. Com âmbito de analisar a relação entre as zonas de manejo foi

realizado a correlação entre os diferentes métodos das zonas dos atributos químicos do solo; altitude; zonas de massa seca da resteva de aveia branca+nabo forrageiro e produtividade de grãos de milho; e zonas de NDVI.

Análise de correlação de Pearson foi significativa ao nível de 5% de probabilidade de erro (Tabela 6) estimada para a zona dos atributos químicos do solo em 0,45 para altitude e 0,57 para zona de massa seca e produtividade. Já a zona de altitude possuiu correlação significativa de 0,76 para massa seca e produtividade e 0,36 para zona NDVI. Além destas a zona de massa seca e produtividade possuiu 0,49 de correlação com a zona de NDVI.

Tabela 6 – Matriz correlação de Pearson entre diferentes métodos das zonas de manejo. Júlio de Castilhos – RS.

	ZM Atrib. Químicos	ZM Altitude	ZM M. Seca & Prod. Milho	ZM NDVI
ZM Atrib. Químicos	1			
ZM Altitude	0,45*	1		
ZM M. Seca & Prod. Milho	0,57*	0,76*	1	
ZM NDVI	0,27 ^{ns}	0,36*	0,49*	1

Significativo *($p \leq 0,05$) e **($p \leq 0,01$); (ns) não significativo.

6 CONCLUSÕES

Os atributos químicos do solo possuem altos valores de variância no desvio padrão (S) e coeficiente de variação (CV%) do fósforo (18,158 e 42,46), potássio (38,263 e 25,80), saturação por alumínio (4,633 e 130,14), enxofre (6,722 e 40,57) e manganês (7,321 e 30,23).

A análise da estatística e geoestatísticos capaz de revelar variáveis explicativas para os valores de massa seca 28,10 de CV % e $r^2=0,9585$ e produtividade de milho 11,85 de CV % e $r^2=0,9989$.

A correlação linear de Pearson indicou argila, saturação por bases, cálcio, índice SMP, magnésio e NDVI foram significativos positivamente quando correlacionados com produtividade de grãos de milho. Já produção de massa seca indicou matéria orgânica, índice SMP, CTC_{pH 7} e magnésio. Entre diferentes métodos das zonas de manejo a correlação positiva entre as zonas de massa seca da resteva e produtividade com zona de altitude, zona atributos químicos e zona de NDVI.

A utilização de imagens de satélites possibilitou a garantia da avaliação de diferentes ambientes de desenvolvimento (zonas de manejo) e uma ferramenta de evolução para a agricultura de precisão.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

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

A necessidade de correção de alguns atributos químicos visando intervenções como calagem, fertilização sulfurada (enxofre), fertilização fosfatada e potássica. Melhorando o equilíbrio entre os nutrientes, maior acúmulo de palha na superfície e corrigir o perfil do solo.

Difícil combinação dos dados de atributos químicos do solo, massa seca e produtividade de milho pela baixa correlação entre si, altos índices de desvio padrão e coeficiente de variação do fósforo, potássio, produtividade do milho e massa seca, índices esses que demonstram a dificuldade de poder relacionar atributos químicos e de planta entre si pela sua alta variância encontrada.

Quanto maior os dados de informação melhor será a definição de zona de manejo.

A utilização de imagens de satélites e 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.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMADO, T. J. C.; BELLÉ, G. L.; DELLAMEA, R. B. C.; PES, L. Z.; FULBER, R.; PIZZUTI, L.; SCHENATO, R. B.; LEMAINSKI, C. L. Projeto Aquarius-Cotrijal: pólo de agricultura de precisão. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 91, n. 1, p. 39-47, jan./fev. 2006.
- AMADO, T. J. C.; SANTI, A. L. AP aplicada ao aprimoramento do manejo do solo. In: FIORIN, J. E. (Coord.) **Manejo e fertilidade do solo no sistema de plantio direto**. Cruz Alta; Fundacep, Cruz Alta 2007.
- ARGENTA, G.; SANGOI, L.; SILVA, P. R. F.; RAMPAZZO, C.; GRACIETTI, L. C.; STRIEDER, M. L.; FORSTHOFER, E. L.; SUHRE, E. Potencial de rendimento de grãos de milho em dois ambientes e cinco sistemas de produção. **Scientia Agraria**, v. 4, n. 1-2, p. 27-34, 2003.
- BALBINOT, JR. A.; BACKES, R. L.; ALVES, A. C.; OGLIARI, J. B.; FONSECA, J. A. Contribuição de componentes de rendimento na produtividade de grãos em variedades de polinização aberta de milho. **Revista brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 11, n. 2, p. 161-166, 2005.
- BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; BERGONCI, J. I.; BIANCHI, C. A. M.; MÜLLER, A. G.; COMIRAN, F.; HECKLER, B. M. M. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 831-839, 2004.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa, MG: UFV, p. 625, 2008.
- BLACKMORE, S. Precision farming: an overview. **Agricultural Engineering**, St. Joseph, p. 86-8, 1994.
- BLACKMORE, B. S.; MARSHALL, C. J. **Yield mapping**: errors and algorithms. In: International Conference on Precision Agriculture, 3., Minneapolis, 1996. Proceedings. Madison: ASA; CSSA; SSSA, 1996, p. 403-415.
- CABON, G. Diversity of chemical composition evolutions of maize the weeks before harvesting Indicators of physiological stage. In: COLLOQUE MAÏS ENSILAGE, Nantes. **Proceedings...** Nantes: p. 43-50, 1996.
- CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVACK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KNOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v. 58, p. 1240-1248, 1994.
- CARVALHO, M. P.; TAKETA, E. Y.; FREDDI, O. S. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em Vitória Brasil (SP). **R. Bras. Ci. Solo**, v. 27, p. 695-703, 2003.
- CARVALHO, W. P. et al. Desempenho agrônômico de plantas de cobertura usadas na proteção do solo no período de pousio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 2, p. 157-166, 2013.

CHANG, J.; CLAY, D. E.; CARLSON, C. G.; CLAY, S. A.; MALO, D. D.; BERG, R.; KLEINJAN, J.; WIEBOLD, W. Different techniques to identify management zones impact nitrogen and phosphorus sampling variability. **Agronomy Journal**, Madison, v. 95, p. 1.550-1.559, 2003.

COELHO, A. M.; DORAN, J. W.; SCHEPERS, J. S. Irrigated corn yield as related to spatial variability of selected soil properties. In: International Conference on Precision Agriculture, 4, 1998, St. Paul. Proceedings... Madison: **American Society of Agronomy**, 1999. Part A, p. 441-52.

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

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO (CQFS RS/SC). **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Núcleo Regional Sul, p. 400, 2004.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Levantamento de Safras**: projeções de grãos. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=2>>. Acessos em: abr., maio e jun. 2015.

CORÁ, J. E.; ARAUJO, A. V.; PEREIRA, G. T.; BERALDO, J. M. G. 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**, v. 28, n. 6, p. 1013-1021, 2004.

CORASSA, G. M. **Manejo por ambiente: atributos de solo e desempenho de cultivares de soja**. Frederico Westphalen: UFSM-CESNORS. 2015, p. 32. Dissertação Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia: Agricultura e Ambiente, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), 2015.

CRUZ, J. C.; VERSIANI, R. P.; FERREIRA, M. T. R. **Cultivo do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. (Embrapa Milho e Sorgo. Sistema de Produção,1). Disponível em: http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_6_ed/index.htm. Acesso em: 17 abr. 2012.

CUGNASCA, C. E.; SARAIVA, A. M. Eletrônica Embarcada, **Revista Cultivar Máquinas**, outubro, 2005. p. 16-19.

DALLMEYER, A. U. **Desenvolvimento de um rotor cônico para distribuição centrífuga de calcário seco**. Santa Maria. UFSM, 1985. 118p. Dissertação Mestrado.

DALLMEYER, A. U.; SCHLOSSER, J. F. Mecanización para la agricultura de precisión. In: **Agricultura de precisión – introducción al manejo sitio-específico**. Chillán: INIA e Cargill Chile, 1999.

DAMPNEY, P. M. R.; MOORE, M. Precision agriculture in England: Current practice and research-based advice to farmers. In: International Conference on Precision Agriculture, 4, 1998, St. Paul. Proceedings... Madison: **American Society of Agronomy**, 1999. Part A, p. 661-73.

DEGHAIID, J. et al. Correlação entre o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e características agronômicas da cultura do amendoim. In: XLII Congresso Brasileiro de Engenharia - CONBEA 2013. **Anais...** Campo Grande: SBEA, 2013. Não paginado.

DELLAMEA, R. B. C. et al. **AP voltada à melhoria da fertilidade do solo no sistema plantio direto.** Trabalho apresentado no Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Gramado (2007), CD ROM.

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

EASTMAN, J. R. IDRISI32 – Guide to GIS and image processing. Massachusetts, Clark University, v. 2, 1999. 169p.

EITELWEIN, M. T. **Definição de estabilidade produtiva e relação com atributos de solo em áreas manejadas com agricultura de precisão.** 2013. 93 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Agricultura e Ambiente) - Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, 2013.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solo.** 3. ed. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2013. 353 p.
EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **A cultura do Milho, importância.** 7. ed. set. 2011. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivodoMilho_7ed/index.htm>. Acessado em: 09 maio 2011.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Levantamento obre o uso da água na agricultura irrigada por pivôs centrais no Brasil** (2013). Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2531814/ana-e-embrapa-fazem-mapa-da-agricultura-irrigada-no-brasil>>. Acesso em: jun. 2015.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Viabilidade e manejo da irrigação da cultura do milho.** Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/publica/2006/Circulares%20tecnicas/Circular%2085.pdf>>. Acesso em: 9 maio 2006.

EVANS, L. T. Processes, genes, and yield potential. In: BUXTON, D. R.; SHIBLES, R.; FORSBERG, R. A.; ASAY, K. H.; PAULSEN, G. M.; WILSON, R. F. (Ed.) International Crop Science I. Madison: **Crop Science Society of America**, p. 687-696, 1993.

FIEZ, T. E.; MILLER, B. C.; PAN, W. L. Assessment of spatially variable nitrogen fertilizer management in winter wheat. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v. 7, n. 1, p. 86-93, may, 1994.

FRAISSE, C. Agricultura de Precisão: tecnologia ao alcance de todos. Disponível em: <<http://www.agriculturade precisão.com.br>>. Acesso em 07 fev. 2006.

FRAISSE, C.; FAORO, L. Agricultura de precisão: a tecnologia de GIS/GPS chega às fazendas. **Revista Fator GIS On Line**. Curitiba, v. 21, nov., dez., jan., 1998.

FRIDGEN, J. J.; KITCHEN, N. R.; SUDDUTH, K. A. Variability of soil and landscape attributes within sub-field management zones. INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 5., 2000, Minneapolis. **Proceedings...** Minneapolis: University of Minnesota, 2000. 1 CD-ROM.

GIOTTO, L.; ROBAINA, A. D. & SULZBACH, L. A Agricultura de Precisão como o Sistema CR Campeiro5, **Manual do Usuário**. 330 p, 2004.

GIOTTO, E.; SULZBACH, L.; ANTUNES, M. U. F. **Evolução temporal da produtividade de uma lavoura de soja - Estudo de caso. Geomática**, Santa Maria, v. 1, n. 1, 2006.

GLAT, D. **A dimensão do milho no mundo**. 2010. Disponível em: <<http://www.agranja.com/index/revistas/agranja/edicao/738/materia/2842>>. Acesso em: jun. 2011.

GOERING, C. E.; HANS, S. A field information system for SSCM. In: International Offhighway & Powerplant Congress & Exposition, 1993, Milwaukee. Warrendale: SAE, 1993. 11 p. (SAE Technical Paper Series n. 932422).

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

GROHS, D. S. et al. Validação de modelo para predição do potencial produtivo de trigo com sensor óptico ativo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 4, p. 446-449, abr. 2011.

HAN, S.; HUMMEL, J. W.; GOERING, C. E.; CAHN, M. D. Cell size selection for site-specific crop management. Transactions of the ASAE, v. 37, n. 1, p. 19-26, jan./feb. 1994.

HORBE, T. A. N.; AMADO, T. J. C.; FERREIRA, A. O.; ALBA, P. J. Optimization of Corn Plant Population According to Management Zones in Southern Brazil. **Precision Agriculture**, v. 14, p. 450-465, 2013.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford Univ.: 1989. 600 p.

JOHANNSEN, C. J.; CARTER, P. G.; WILLIS, P. R. et al. Applying remote sensing Technology to precision farming. In: International Conference on Precision Agriculture, 4, 1998, St. Paul. Proceedings... Madison: American Society of Agronomy, 1999. Part B, p. 1413-22.

JOHANNSEN, C. J.; CARTER, P. G.; ERICKSON, B. J.; MORRIS, D. K.; WILLIS, P. R. A cornucopia of agricultural applications. **Space Imaging**, Thornton, Jan/Fev, p. 22-3, 2000.

KHAN, A. R.; CHANDRA, D.; QURAIISHIAND, S. & SINHA, S. R. K. **Soil aeration under different soil surface conditions**. J. Agropec. & Crop Sci., v. 185, p. 105-112, 2000.

KOPPEN, W. **Climatologia: con un Estudio de los Climas de la Tierra**. Fondo de Cultura Economica, México, p. 466, 1948.

LANDIM, P. M. B. *Análise estatística de dados geológicos*. São Paulo, Ed. UNESP, 1998, 226p.

LIU, W. T. H. **Aplicações de sensoriamento remoto**. Campo Grande: UNIDERP, 2006. 908 MAPA. MINISTÉRIO AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **A cultura do Milho**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/milho>>. Acessado em: 21 jun. 2011.

MATZENAUER, R. **Modelos agrometeorológicos para estimativa do rendimento de milho, em função da disponibilidade hídrica no Estado do Rio Grande do Sul**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. p. 172, 1994.

MENEGATTI, L. A. A. **Metodologia para identificação, caracterização e remoção de erros em mapas de produtividade**, Piracicaba, 2002, 84p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo.

MENESES, P. R.; ALMEIDA T. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: Universidade de Brasília, 2012. 266 p.

MILANI, L.; SOUZA, E. G.; URIBE-OPAZO, M. A.; GABRIEL FILHO, A.; JOHANN, J. A.; PEREIRA, J. O. Unidades de manejo a partir de dados de produtividade. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 28, n. 4, p. 591-598, 2006.

MOLIN, J. P. **Agricultura de Precisão – O gerenciamento da variabilidade**. Piracicaba/SP, 2001 – reimpressão, 83p. 2003.

MOLIN, J. P. Definição de unidades de manejo a partir de mapas de produtividade. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v. 22, n. 1, p. 83-92, jan.2002.

MOLIN, J. P. Geração e interpretação de mapas de produtividade para agricultura de precisão. In: BORÉM, A.; GIÚDICE, M. P.; QUEIROZ, D. M.; MANTOVANI, E. C.; FERREIRA, L. R.; VALLE, F. X. R.; GOMIDE, R. L. **Agricultura de Precisão**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, p. 237-258, 2000.

MOLIN, J. P.; MASCARIN, L. S.; VIEIRA JÚNIOR, P. A. Avaliação de intervenções em unidades de aplicação localizada de fertilizantes e de populações de milho. **Eng. Agríc.** Jaboticabal, v. 26, n. 2, may./aug. 2006.

MOLIN, J. P.; MENEGATTI, L. A.; PEREIRA, L. L.; CREMININI, L. C.; EVANGELISTA, M. Avaliação do desempenho de distribuidora de produtos sólidos a lanço em doses variáveis de uréia. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, 30, 2001, Foz do Iguaçu. Anais... Foz de Iguaçu: SBEA, 2001.

MOORE, M. **An investigation into the accuracy of yield maps and their subsequent use in crop management**. 379p. 1998. Thesis (Doctorate) - Silsoe College, Cranfield University, Warwick, 1998.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, Secretaria da Agricultura, Diretoria de Terras e Colonização, Secção de Geografia, 1961. 46p.

MULLA, D. J. SCHEPERS, J. S. Key process and properties for site-specific soil and crop management. In: PIERCE, F.J. & SADLER, E.J., eds The state of site-specific management for agriculture. Madison, **American Society of Agronomy**, 1997. p. 1-18.

MULLA, D. J.; BHATTI, A. U. An evaluation of indicator properties affecting spatial patterns in N and P requirements for winter wheat yield. In: STAFFORD, J. V. (Ed.), Precision Agriculture 97, European Conference on Precision Agriculture, 1, 1997. Warwick. Proceedings... Oxford: **BIOS Scientific Publishers**, 1997. p. 145-53.

OLLINGER, S. V. **Sources of variability in canopy reflectance and the convergent properties of plants**. New Phytologist, v. 189, p. 375-394, 2011.

PALHARES, M. **Distribuição e população de plantas e produtividade de grãos de milho**. 2003. 107 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2003.

PONTELLI, C. B. **Caracterização da variabilidade espacial das características químicas do solo e da produtividade das culturas utilizando as ferramentas da agricultura de precisão**. Santa Maria, 110p. 2006, Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria.

QUEIROZ, D. M.; DIAS, G. P.; MANTOVANI, E. C. **Agricultura de Precisão na produção de grãos**. In: BORÉM, A. et al. (Org.) **Agricultura de Precisão**. Viçosa. UFV, MG. 2000. p. 1-42.

RODRIGUES, J. B. T. **Variabilidade espacial e correlações entre atributos de solo e produtividade na agricultura de precisão**. 2002. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

RODRIGUES, L. R.; GUADAGNIN, J.P. ; PORTO, M. P. (Org.). **Indicações técnicas para o cultivo de milho e de sorgo no Rio Grande do Sul safras 2009/2010 e 2010/2011**. Veranópolis: Fepagro-Serra. p. 179, 2009.

SANTI, A. L.; AMADO, T. J. C.; SILVA, V. R.; BASSO, C. J.; DELLA FLORA, L. P.; CHERUBIN, M. R; EITELWEIN, M. T. **Infiltração de água no solo, determinada por diferentes métodos, como indicador do potencial produtivo em dois Latossolos manejados com agricultura de precisão**. Interciencia, v. 37, n. 3, p. 204-208, 2012. <http://www.interciencia.org/v37_03/index.html>. Acessado em: 21 mai. 2012.

SANTI, A. L. **Aprimoramento do manejo do solo utilizando as ferramentas da Agricultura de Precisão**. 2007. 210 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

SANTI, A. L. et al. Multifuncionalidade de biomassas de cobertura do solo e agricultura de precisão. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 137-138, p. 16-23, 2014.

SANTI, A. L. **Relações entre indicadores de qualidade do solo e a produtividade das culturas em áreas com agricultura de precisão**. 2007. 150p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

SANTI, A. L.; AMADO, T. J. C.; EITELWEIN, M. T.; CHERUBIN, M. R.; SILVA, R. F.; DA ROS, C. O. Definição de zonas de produtividade em áreas manejadas com agricultura de precisão. *Agrária*, v. 8, n. 3, p. 510-515, 2013.

SANTOS, A. O.; MAZIERO, J. V. G.; CAVALLI, A. C.; VALERIANO, M. M.; OLIVEIRA, H.; MORAES, J. F. L.; YANAI, K. **Monitoramento localizado da produtividade de milho cultivado sob irrigação**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 5, n. 1, p. 88-95, 2001.

SCHLINDWEIN, J. A. & ANGHINONI, I. Tamanho da subamostra e representatividade da fertilidade do solo no sistema plantio direto. *Ciência Rural*, v. 32, n. 6, p. 963-968, 2002.

SCHLINDWEIN, J. A. **Calibração de métodos de determinação e estimativa de doses de fósforo e potássio em solos sob sistema plantio direto**. 2003. 169 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

SHANAHAN, J.; DOERGE, T.; SNYDER, C.; LUCHIARI JUNIOR, A.; JOHNSON, J. **Feasibility of variable rate management of corn hybrids and seeding rates**. International Conference on Precision Agriculture, v. 5, 2000, Minneapolis. *Proceedings...* Minneapolis: University of Minnesota, 2000. 1 CD-ROM.

SHIRATSUCHI, L. S.; FACCONI, G. C.; QUEIROZ, L. R.; DOWICH, I.; OLIVEIRA, J. V. F. **Utilização de lógica nebulosa em dados de produtividade para delimitação de zonas de manejo**. III Simpósio Internacional de Agricultura de Precisão. Embrapa Milho e Sorgo – Sete Lagoas, MG, ago, 2005.

SIMÕES, C. R. et al. Imagens multiespectrais para avaliação de índice de área foliar e massa seca do capim ‘Tifton 85’, sob adubação nitrogenada. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 45, n. 4, p. 697-703, 2015.

STAFFORD, J. V.; AMBLER, B.; LARK, R. M.; CATT, J. mapping and interpreting yield variation in cereal crops. *Comput. Electron. Agr.*, v. 14, p. 101-19, 1996.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM - SAS. SAS/STAT[®]. **User’s guide: statistics**, versão 8.1.4. ed. Cary: SAS Institute, v.2, 2000. CD-ROM

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.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais. (Boletim Técnico, 5)**. 2. ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 147 p. 1995.

TRABACHINI, A.; MANTOAM, E. J.; PAVLU, F. A.; MOLIN, J. P. Definição de unidades de manejo baseado em mapas de produtividade. *Revista Sapere*, v. 1, p. 1-8, 2009.

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

VIEIRA JUNIOR, P. A.; MOLIN, J. P.; DOURADO NETO, D.; MANFRON, P.; MASCARIN, L. S.; FAULIN, G. C.; DETOMINI, E. R. Relação entre população, distribuição espacial de plantas, atributos do solo e rendimento de grãos de milho. Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão. Escola Superior de agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba: **Anais...** Piracicaba, v. 1, 2004. 1 CD-ROM.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F. et al. (Eds.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1, 352p. p. 1-54.

VIEIRA, S. R. **Geoestatística em estudos de variabilidade espacial**. Campinas: IAC, 1988. 53 p.

WANG, B. H.; JIN, L.; WANG, B. Improvement of soil nutrient management via information technology. **Better Crops, Norcross**, v. 90, n. 3, p. 30-2, 2006.

WEISS, A. **Desenvolvimento de um distribuidor helicoidal para calcário seco**. Santa Maria: UFSM, 1986. 79p. Dissertação Mestrado

WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E. S. & NEVES, J. C. L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo vermelho sob diferentes manejos. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 40, n. 5, p. 487-494, maio 2005.

WIKIAGRO. **Empresa GeoAgro, informações sobre GeoAgro GIS e outras ferramentas de tecnologia e gestão do conhecimento metodológico na agricultura**. Disponível em: <http://www.wikiagro.com/es/Qu%C3%A9_es_un_mapa_de_productividad%3F>. Acesso em: 15 fev. 2016.

ZHANG, M.; HENDLEY, P.; DROST, D.; O'NEIL, M.; USTIN, S. Corn and soybean yield indicators using remotely sensed vegetation index. In: International Conference on Precision Agriculture, 4, 1998, St. Paul. Proceedings... Madison: **American Society of Agronomy**, 1999. Part A, p. 1475-81.