

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

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO PERFIL QUÍMICO
DO SOLO NA PRODUTIVIDADE DA SOJA (*Glycine
max*) ATRAVÉS DE MAPAS DE COLHEITA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Jonas Lorençon

Santa Maria, RS, Brasil

2014

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO PERFIL QUÍMICO DO
SOLO NA PRODUTIVIDADE DASOJA (*Glycine max*)
ATRAVÉS DE MAPAS DE COLHEITA**

Jonas Lorençon

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

Orientador: Dr. Luciano Zucuni Pes

Santa Maria, RS, Brasil

2014

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

Lorençon, Jonas
Avaliação da influência do perfil químico do solo na produtividade da soja (Glycine max) através de mapas de colheita. / Jonas Lorençon.-2014.
60 p.; 30cm

Orientador: Luciano Zucuni Pes
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Politécnico, Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, RS, 2014

1. Agricultura de Precisão 2. Mapas de produtividade
3. Perfil químico do solo I. Pes, Luciano Zucuni II.
Título.

© 2014

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

E-mail: jonaslorencon@hotmail.com

**Universidade Federal de Santa Maria
Colégio Politécnico de Santa Maria
Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO PERFIL QUÍMICO DO SOLO NA
PRODUTIVIDADE DASOJA (*Glycinemax*) ATRAVÉS DE
MAPAS DE COLHEITA**

elaborada por
Jonas Lorençon

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Agricultura de Precisão

COMISSÃO EXAMINADORA:

Luciano Zucuni Pes, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Ricardo Bergamo Schenato, Dr. (UFSM)

Pablo Miguel, Dr. (UFPEL)

Santa Maria, 28 de agosto de 2014.

DEDICATÓRIA

A essas duas pessoas maravilhosas que são meus pais, Tadeu e Iracilda, pelo dom da vida, por todos os ensinamentos e oportunidades que me proporcionaram durante esse tempo.

Ao meu irmão Edison, por encarar corajosamente os trabalhos de casa para que eu pudesse estudar.

A minha querida irmã Diana, que sempre me deu força e motivos para não desistir...

A Daiane Calgaro, por estar ao meu lado sempre...

Te amo meu amor...

A todos, meu muito obrigado!

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Tadeu e Iracilda, ao meu irmão Edison e minha irmã Diana, que sempre me apoiaram na busca por mais conhecimento, sendo exemplos de pessoas trabalhadoras, que cultivam a terra assim como cultivam a família, com muito amor e zelo, bem como aos cunhados, Cledimar e Juliana. À Daiane, que agüentou os finais de semana sem minha presença e mesmo assim me deu força para seguir em frente. Muito obrigado de coração pelo esforço e incentivo nestes anos de estudo.

A minha namorada, Daiane Calgaro, pelo amor, carinho e ternura, companheira em todas as situações vividas juntos.

A empresa Drakkar Agricultura de Precisão, por me oportunizar a realização do curso durante os expedientes e por me acolher na longa caminhada que realizamos juntos.

A empresa Renovar Solos e ao Rodrigo Rech, que além de colega, ajudou muito para que eu conseguisse participar das aulas e no auxílio para a elaboração do trabalho, com idéias e contribuições importantes.

Ao engenheiro agrônomo Olavo Gabriel Rossato Santi, pelo exemplo de humildade, empenho e profissionalismo, pelo auxílio nos materiais para a revisão e por instigar a ser não apenas um profissional melhor, mas também uma pessoa melhor. Muito obrigado.

Ao engenheiro agrônomo Evandro Venturini, pelas longas conversas, conselhos e orientações técnicas para a confecção do trabalho.

A Sementes Bee, em especial ao José Carlos Bee (Carlito), pela oportunidade e atenção com que atendiam às orientações durante os trabalhos de campo e no fornecimento dos dados.

A Deus, pelo dom da vida, sem ele nada seria possível.

Enfim, a todos que contribuíram para mais esta etapa da minha vida.

AGRADEÇO de coração.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil.

AVALIAÇÃO DO PERFIL QUÍMICO DO SOLO NA PRODUTIVIDADE DA SOJA (*Glycine max*) ATRAVÉS DE MAPAS DE COLHEITA

AUTOR: JONAS LORENÇON
ORIENTADOR: LUCIANO ZUCUNI PES
Santa Maria, 27 de outubro 2014.

O Agronegócio como um todo vem evoluindo junto com a modernização global. A agricultura de Precisão (AP) é uma tecnologia que vem agregando na produção de grãos das grandes culturas como soja, milho, trigo e café. A geração de mapas de produtividade e de mapas de fertilidade são possibilidades de gerar informações para posteriormente fazer as intervenções ou aplicações de corretivos nas lavouras. Com o objetivo de Investigar a relação entre mapas de produtividade das culturas de soja com indicadores químicos da fertilidade do solo foi realizado um trabalho na propriedade da Sementes Bee no município de Coxilha – RS. O estudo iniciou-se em 2005 até 2013 na coleta de informações de produtividade feito através de mapas trabalhados com auxílio do *software* SMS Ag Leader, totalizando 5 mapas da cultura da soja. Os mapas de produtividade são gerados a partir de informações coletadas na colheita do produto. Esses dados são conseguidos com equipamentos equipados com GPS, sensor de umidade e de produtividade que no decorrer da colheita geram informações localizadas. A partir disso, unificou-se os mapas em um só com 3 classificações de zonas de produção: alta, média e baixa. Com a informação das zonas de alta e baixa produção foram coletadas amostras de solo até 1 m de profundidade em 5 pontos georreferenciados de cada zona distinta (alta e baixa). Nas avaliações das análises percebeu-se que O pH e saturação de bases e enxofre foram os atributos que deram maior relação com a produtividade em profundidade. O fósforo teve influência positiva com a produtividade até os 0,20 m de profundidade. A matéria orgânica não apresentou semelhanças com a produtividade. Em vista disso a correlação com fatores que influenciam na produção possibilitam ao produtor uma decisão de qual produto aplicar e em que quantidade, mais precisa por estar baseada em dados georreferenciados de sua área. Com isso consegue-se racionalizar o uso de recursos naturais e conseqüentemente do meio ambiente podendo ainda elevar os tetos produtivos das lavouras.

Palavras-chave: Agricultura de Precisão. Mapas de produtividade. Perfil químico do solo.

ABSTRACT

Master's Dissertation
Graduate Program in Precision Agriculture
Federal University of Santa Maria, RS, Brazil .

EVALUATION OF CHEMICAL SOIL PROFILE IN PRODUCTIVITY OF SOYBEAN (*Glycine max*) THROUGH MAPS COLLECTION

AUTHOR : JONAS LORENÇON

ADVISOR: LUCIANO ZUCUNI PES

Local and Date: Santa Maria, 27th October 2014 .

Agribusiness as a whole has evolved along with the global modernization. Precision Agriculture (PA) is a technology that has been adding in yield of major crops such as soybeans, corn, wheat and coffee. The generation of yield maps and maps of fertility are likely to generate information to make further interventions or remedial applications in crops. Aiming to investigate the relationship between yield maps of soybean with chemical indicators of soil fertility work was undertaken on the property of Seeds Bee the municipality of Coxilha - RS. The study began in 2005 until 2013 in the collection of data on productivity done through maps worked with the aid of Ag Leader SMS software, totaling 5 maps of soybean. The yield maps are generated from information collected in the harvest product. These figures are achieved with devices equipped with GPS, humidity sensor and productivity throughout the harvest generate localized information. From this, the maps was unified into one with three classifications of production zones: high, medium and low. With information from areas of high and low production soil samples were collected up to 1 m deep by 5 points geo-referenced each distinct zone (high and low). In the evaluations of the analysis it was realized that the pH and base saturation and sulfur were the attributes that have higher productivity in relation to depth. The match had a positive influence on productivity up to 0.20 m depth. Organic matter showed no similarities with productivity. In view of this correlation with the factors that influence the production allow the producer a decision which product to apply and how much more needs to be based on georeferenced data from your area. This achieves - rational use of natural resources and therefore the environment can still raise productive crops ceilings.

Keywords: Precision Agriculture. Yield maps. Chemical profile of the soil.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Mapas de aplicação de corretivos para lavouras	16
Figura 2 –	Mapas de fertilidade e de produtividade de uma lavoura do norte do Rio Grande do Sul.....	17
Figura 3 –	Aplicação de calcário em zona de manejo em 2006 em função da falta de equipamento a taxa variável.....	20
Figura 4 –	Variabilidade horizontal da produtividade da cultura da soja em cinco safras em relação à média da lavoura em Coxilha – RS.	24
Figura 5 –	Localização do município de Coxilha/RS e da área experimental.....	32
Figura 6 –	Grade com células de 15x15 metros utilizada para fazer o cálculo da média pontual da produtividade de grãos de soja em Coxilha – RS.	34
Figura 7 –	Espacialização horizontal dos pontos de colheita após a filtragem dos dados de colheita de soja para as safras 2004/05, 2007/08, 2010/11, 2011/12 e 2012/13, em Coxilha - RS	35
Figura 8 –	Variabilidade horizontal da produtividade da cultura da soja em cinco safras, em relação à média da lavoura, em Coxilha – RS	36
Figura 9 –	Mapas de produtividade interpolados de 5 anos de colheita, com os pontos de coleta de solo	37
Figura 10 –	Amostradores de solo e equipamentos para abertura das trincheiras e remoção dos resíduos.....	38
Figura 11 –	Distribuição do pH do solo nas zonas de alta e baixa produtividade, ao longo da profundidade, em Coxilha - RS.....	40
Figura 12 –	Distribuição da saturação por alumínio do solo nas zonas de alta e baixa produtividade, ao longo da profundidade, em Coxilha - RS.....	41
Figura 13 –	Distribuição do fósforo do solo nas zonas de alta e baixa produtividade, ao longo da profundidade, em Coxilha - RS	43
Figura 14 –	Distribuição do potássio do solo nas zonas de alta e baixa produtividade, ao longo da profundidade, em Coxilha - RS	44
Figura 15 –	Distribuição do S do solo nas zonas de alta e baixa produtividade, ao longo da profundidade, em Coxilha - RS.....	46
Figura 16 –	Distribuição da saturação de bases do solo nas zonas de alta e baixa produtividade, ao longo da profundidade, em Coxilha - RS.....	48
Figura 17 –	Distribuição da matéria orgânica do solo nas zonas de alta e baixa produtividade, ao longo da profundidade, em Coxilha - RS	50

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.2 Objetivo geral	12
1.3 Objetivos específicos.....	12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1 Agricultura de Precisão	13
2.2 Histórico da agricultura de precisão no Rio Grande do Sul.....	18
2.3 Mapas de colheita e mapas de produtividade	22
3 MATERIAL E MÉTODOS	32
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
4.1 pH e Saturação de alumínio	40
4.2 Fósforo (P)	42
4.3 Potássio (K)	43
4.4 Enxofre (S)	45
4.5 Saturação de bases (V%).....	47
4.6 Matéria Orgânica do solo (MOS).....	49
5 CONCLUSÕES	51
REFERÊNCIAS	52

1 INTRODUÇÃO

O Agronegócio ou *Agribusiness* considera toda a relação comercial e industrial envolvendo a cadeia produtiva agrícola ou pecuária ou, segundo Batalha (2001), é o conjunto de negócios relacionados a agricultura e pecuária dentro do ponto de vista econômico. É um dos setores que mais vêm crescendo nos últimos anos em função de que a grande maioria da população depende da agricultura para nutrição.

A agricultura pode ser considerada como a ciência ou a arte de cultivar o solo, desenvolvendo culturas de interesse para o bem estar humano, com a mínima degradação ambiental, visando à máxima rentabilidade técnica e econômica das culturas, as quais dependem de vários fatores de produção, principalmente solo, clima, plantas, insumos, manejo e equipamentos (LEMAINSKI, 2007).

A pesquisa tecnológica na agropecuária tem como objetivo o desenvolvimento de novos produtos ou processos que permitam, quando adotados pelos produtores, redução de custos de produção, melhoria na produtividade e na qualidade, combate a pragas e doenças, preservação do meio ambiente, entre outros, ou seja, busca atingir múltiplos objetivos para garantir a sustentabilidade do sistema produtivo (VEIGA, 2014).

Com o rápido crescimento da população em todo o mundo, as necessidades de produtos vegetais são a todo instante elevadas e pode-se esperar que aumentem continuamente. No ano de 2000, a população mundial atingiu 6 bilhões de pessoas e, no ano de 2025, são estimados 8 bilhões de seres humanos. Isso significa que, no período, a produção mundial de alimentos necessitará crescer 25% para atender à demanda esperada. Como em vários lugares do mundo, praticamente não existe a possibilidade do crescimento da área, uma vez que as novas fronteiras agrícolas estão escassas, a necessidade do aumento da produção somente vai acontecer com a utilização intensiva de tecnologias, ocasionando muitas vezes um aumento na eficiência da produção (FLOSS, 2011).

Na tentativa de aumentar a eficiência dos processos produtivos, a determinação da variabilidade de produtividade de grãos torna-se uma ferramenta importante para a tomada de decisões no manejo, possibilitando, assim, identificar

os locais em que a produtividade encontra-se abaixo do esperado, em função do investimento realizado anteriormente. Com a ferramenta da Agricultura de Precisão (AP), através da geração de mapas de produtividade e a amostragem do solo localizada, é possível identificar a variabilidade espacial e temporal em condições de lavoura (SANTI, 2007).

A crescente competitividade e a procura por altas produtividades, a racionalização no uso de insumos, tempo e, conseqüentemente, dinheiro, é uma necessidade em função dos elevados custos a que todos os produtores estão sujeitos na agricultura. Neste sentido, tem sido importante o uso da AP para melhorar a eficiência e a rentabilidade baseada no manejo localizado, respeitando a variabilidade do solo, planta e microclima existente dentro da mesma área (AMADO e SANTI, 2007).

Somando-se a isso, a degradação física é uma das principais causas da baixa produtividade dos solos agrícolas (LANZANOVA, 2010). A compactação do solo, que corresponde ao aumento da sua densidade, é frequentemente verificado na camada superficial de solos manejados sob sistema de plantio direto (SSD), comparativamente àqueles manejados sob sistema de preparo convencional (SPC) (Pierce et al., 1994). No entanto, essa compactação geralmente não ocorre em profundidade, ou seja, em profundidades superiores a 20 cm (PRADO et al., 2002).

O conhecimento da variabilidade das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo e das culturas, no espaço e no tempo, é considerado o princípio básico para o manejo preciso das áreas agrícolas, qualquer que seja a sua escala (Grego e Vieira, 2005). Através do mapa de produtividade é possível se obter informações detalhadas em cada talhão, que vão fornecer informações para diagnosticar e corrigir as causas da variação da produtividade das culturas (MOLIN, 2000).

A busca por meios produtivos mais eficazes faz com que os técnicos e produtores envolvidos no sistema participem ou conduzam pesquisas *in loco*, em áreas comerciais, a fim de melhorar os índices de produtividade, aumentar a eficiência do manejo, buscando a sustentabilidade ao longo do tempo, contemplando os três pilares de sustentação de um negócio que são: o econômico, social e ambiental.

No que diz respeito à agricultura, nas últimas décadas, vários eventos tecnológicos vêm apresentando destaque no setor, tais como a mecanização de

processos, o emprego de insumos químicos, o sistema de semeadura direta, a biotecnologia e, mais de modo recente, como um instrumento gerencial estão sendo utilizadas ferramentas da AP. Deste modo, a AP se tornou, nestes últimos anos, uma importante tecnologia em todo o processo produtivo (FIORIN et al., 2010).

A finalidade da AP é reconhecer os diferentes fatores que influenciam na demonstração da potencialidade produtiva de uma cultura para formar, assim, um método eficiente de gerenciamento centrado para as intercessões de manejo, como a adubação localizada.

Sendo assim entende-se que com os progressos nas pesquisas sobre o assunto, a diminuição dos custos de obtenção dos equipamentos e a maior exposição das potencialidades dessas novas ferramentas, a AP tenha um alto nível de aceitação diante dos produtores brasileiros. Entretanto, de maiores informações necessita-se essas técnicas para o melhor uso dessa tecnologia.

1.2 Objetivo geral

Investigar a relação entre mapas de produtividade das culturas de soja com indicadores químicos da fertilidade do solo.

1.3 Objetivos específicos

- Analisar a consistência da informação dos mapas de produtividade para visualizar a variabilidade espacial das lavouras;
- Identificar quais nutrientes tem maior relação com a produtividade;
- Visualizar a correlação da matéria orgânica do solo com a produtividade.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Agricultura de Precisão

Poucos setores da economia brasileira têm desenvolvido tanto como a agricultura. A cada ano, novos recordes de safras são anunciados. A produtividade de algumas culturas vem aumentando substancialmente mesmo em áreas anteriormente tidas como marginais à exploração. Isto indica que o conhecimento mais pormenorizado a respeito dos recursos de solos no país deve ser cada vez mais intensificado para atender a programas de adubação, correção, manejo e conservação, poluição ambiental, qualidade do solo, agricultura de precisão, dentre outros (KER et al., 2006).

Coráetal (2004), apontaram que áreas que possuem diferentes potenciais produtivos devido a heterogeneidade do solo, podem sinalizar a aplicação dos custos de forma variável, na tentativa de homogeneizar a produtividade e/ou reduzir custos para, conseqüentemente, aumentar a rentabilidade da atividade.

A agricultura moderna exige o uso de corretivos e fertilizantes em quantidades adequadas, de forma a atender critérios econômicos e ao mesmo tempo conservar a fertilidade do solo, mantendo ou elevando a produtividade das culturas. Um dos fatores que influenciam a obtenção de melhores produtividades está baseado na adequada distribuição de nutrientes em função da necessidade dos cultivares e da variabilidade espacial existente nos solos.

A área computacional aplicada no projeto da agricultura de precisão trata-se da utilização de técnicas de processamento digital de imagens e inteligência artificial. Essas técnicas são utilizadas para realizar todos os procedimentos nas imagens capturadas, a fim de gerar resultados satisfatórios para a visualização (HONDA; JORGE, 2013).

Através das informações obtidas pelos sistemas especialistas o agricultor pode mapear e realizar o manejo do cultivo e das terras em devidas proporções de insumos em cada unidade do campo, de forma mais inteligente e eficaz, assim, tem-

se menos gastos com insumos, agride menos o meio ambiente e gera-se uma maior lucratividade.

Para entender esta demanda moderna, surge um conjunto de ferramentas que no Brasil recebe o nome de agricultura de precisão (AP), em outros países utiliza-se os termos *Precision Agriculture*, *Precision Farming*, *Site-Specific Crop Management* (MANZATTO et al., 1999), que tem por objetivo identificar a variabilidade espacial de certas características físico-químicas e biológicas do solo, para um posterior monitoramento e correção, se necessário, localizado de insumos, reduzindo desperdícios e, conseqüentemente, aumentando os lucros e mantendo a qualidade do meio ambiente (BLACKMORE, 1994).

Para Molin (2013), a AP tem várias formas de abordagem, mas o objetivo é sempre o mesmo – utilizar estratégias para resolver os problemas de desuniformidade das lavouras e se possível tirar proveito dessa problemática. São práticas que podem ser desenvolvidas em diferentes níveis de complexidade e com diferentes objetivos.

Trata-se de um gerenciamento agrícola que parte do registro georreferenciado de informações de solo e de culturas, completando-se com intervenções de manejo localizado (ROZA, 2000). Balastreire (2000), diz que o conceito AP refere-se a um conjugado de técnicas que consente o gerenciamento centrado do manejo das culturas. Sua fundamental diferença em relação aos procedimentos clássicos de cultivo é o fato de tratar a área trabalhada, analisando a variabilidade espacial e até temporal dos predicados dos solos e das plantas.

A AP faz uso claro de sistemas de posicionamento por satélite e de Sistemas de Informações Geográficas (GIS), consentindo o tratamento e apreciação de dados coletados no campo (MOLIN, 2003). A análise das informações permite que se tenha a otimização do uso de insumos agrícolas, possibilitando ganhos econômicos, através da realocação de insumos, aumento de produtividade e, ainda, diminuindo o impacto ambiental da atividade.

Esses são os fundamentais alvos perseguidos pela AP, considerando que o meio ambiente estaria mais resguardado se a aplicação de adubos e defensivos fosse restrita a necessidades específicas, impedindo exageros que por muitas vezes possam trazer toxidade e poluição de solos e recursos hídricos. Economicamente, a vantagem está na diminuição do custo do produto final ou no aumento da rentabilidade ao agricultor. Com isso, o conhecimento da variabilidade dos atributos

de solo e de cultura apresenta-se como uma ferramenta, quando se quer constatar a variabilidade de rendimento, aperfeiçoando, assim, o manejo em áreas agrícolas (SOUZA, 2004).

Já no entendimento de Pontelli (2006), a AP é considerada como sendo uma ferramenta tecnológica que ajusta a exploração de todos os artefatos do sistema solo de uma forma precisa e individual, consentindo, deste modo, a prática de correlações futuras entre os atributos do solo e, conseqüentemente, o diagnóstico de problemas característicos que poderão ganhar tratamentos individualizados.

A aplicação de insumos em taxa variada é considerada um dos princípios da AP, de acordo com a variabilidade espacial e temporal dos atributos do solo e das culturas (CORÁ et al., 2006).

A demanda crescente por alimentos, o aumento da produtividade e a crescente preocupação ambiental encontram na AP uma alternativa viável para estas demandas, uma vez que ela é uma ferramenta de gerenciamento e tomada de decisões que acarreta ao avanço da eficiência da utilização dos recursos no sistema produtivo (AMADO; SANTI, 2007).

Cabe destacar a importância socioeconômica, conforme Maohua (2001), do investimento em novas tecnologias, entre elas a AP, para o desenvolvimento tecnológico dos países em desenvolvimento, como é o caso do Brasil.

Deste modo, no intuito de diminuir por muitas vezes o impacto econômico e a necessidade de aumentar a produção, conforme entendimento de Petilio et al. (2007), a diminuição das margens de lucro levam o produtor a procurar sempre novas tecnologias. A AP surge com a proposta do uso mais eficiente dos insumos agrícolas para alavancar a produção de alimentos, como a soja, que é analisada como sendo a leguminosa alimentar mais importante para o mundo. Segundo dados da FAO (2012), o Brasil, o maior produtor mundial, com 35% do total produzido no mundo, com produção de aproximadamente 88 milhões de toneladas. A AP possibilita ao produtor uma série de melhoramentos, tanto econômicos, quanto ambientais, como a racionalização dos insumos agrícolas e a redução de parte dos custos de produção, que são os fatores que servem de estímulo ao uso desta tecnologia.

Tem sido possível de modo recente, com a ampliação da AP no Brasil, a geração de mapas da distribuição espacial da produtividade das culturas, consentindo, deste modo, relacionar a qualidade do solo com a produtividade das

culturas em áreas de lavouras comerciais (AMADO et al., 2004). Assim, dentro de um talhão, é possível definir um diagnóstico de problemas característicos, que poderão exigir intercessões de manejo particulares.

Contudo, estão profundamente relacionados os melhoramentos provenientes da adoção da AP à variabilidade encontrada nas lavouras (AMADO; SANTI, 2007) e ao grau de acerto que tecnicamente podem ser conseguidos nas diferentes etapas do processo. Nos ganhos em produtividade e/ou diminuição de custos, isso influencia inteiramente e, conseqüentemente, a viabilidade técnica e econômica dessa ferramenta tecnológica.

Segundo Durigon (2007), para a adoção destas novas técnicas, há um aumento da demanda de pessoal especializado para operar estas novas máquinas, equipamentos e softwares, com o objetivo de aumentar a acurácia da técnica, no que diz respeito da administração agrícola, tornando-a cada vez mais uma atividade empresarial. Sendo assim, estes profissionais tem que relacionar todas as informações que regem a atividade agrícola, os quais terão um alto nível de controle das operações do uso dos insumos e de todas as práticas agrícolas.

Para isso, a AP pressupõe a elaboração e a utilização de mapas temáticos que descrevam características técnicas simples e práticas de serem compreendidas (Figura 1). Estes visam diminuir a possibilidade de erros dos sistemas de produção, aumentando a competitividade dos produtos agrícolas nacionais, assegurando resposta com base científica às questões ambientais, contribuindo para o aumento da qualificação técnica na cadeia produtiva de grãos e gerando conhecimento na produção de grãos para as diferentes unidades de produção (MANTOVANI et al., 2005).

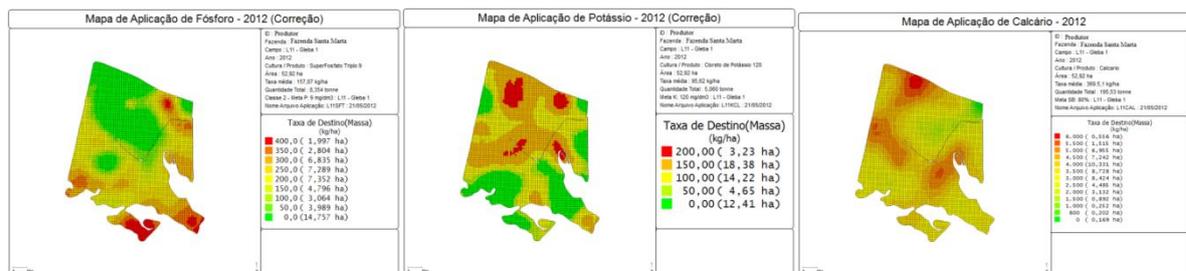


Figura 1 – Mapas de aplicação de corretivos para lavouras

Fonte: Banco de dados da Drakkar Solos®.

Com a adoção das técnicas e conceitos de AP, surgem questões sobre a interpretação do grande volume de informações e de como usá-las como ferramentas que auxiliem na tomada de decisão, frente à variabilidade espacial existente nas áreas agrícolas brasileiras (CARVALHO et al., 2001). Assim, a AP pressupõe a elaboração e a utilização de mapas que descrevam as características e as propriedades de uma dada área. Esses mapas representam espacialmente a variabilidade de propriedades do solo, produtividade e características observadas no campo (Figura 2). Com base nas informações contidas nesses mapas, são tomadas as decisões que envolvem o manejo localizado dessas áreas (SILVA et al., 2003).

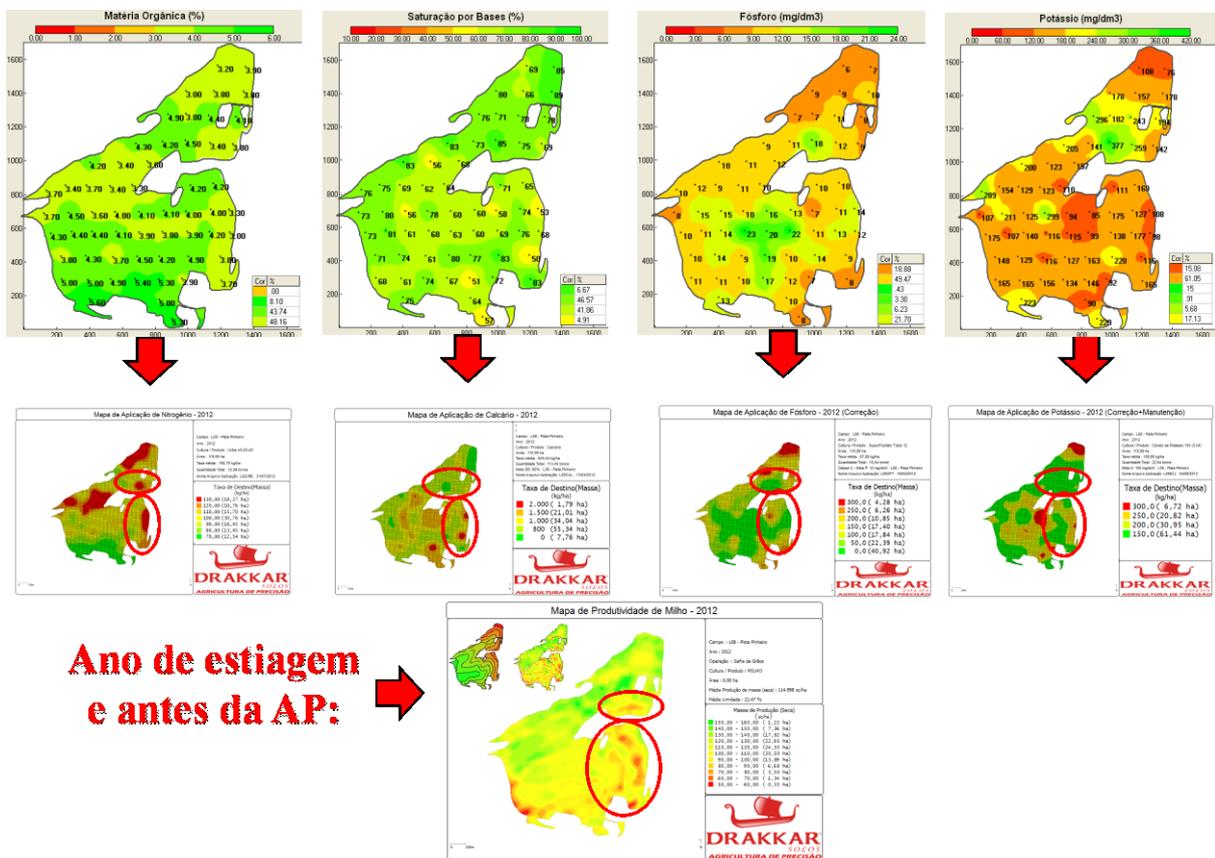


Figura 2 – Mapas de fertilidade e de produtividade de uma lavoura do norte do Rio Grande do Sul

Fonte: Banco de dados da Drakkar Solos®.

Referente aos Estados Unidos e países da Europa Ocidental pode-se dizer que estes exibem uma agricultura bem desenvolvida, porém em relação ao Brasil, é

pacífico o entendimento de que ele alcançou a posição de maior produtor e exportador de produtos agrícolas.

Conforme entendimento de Molin (2003), essas novas tecnologias permitem o manejo da atividade agrícola, com informações precisas a respeito da localização e o desenvolvimento das lavouras, o que permite um melhor entendimento da origem dos custos de produção, melhora o manejo dos tratos culturais, reduz o desgaste das máquinas, pela otimização de seu uso, permite administrar e planejar melhor as atividades já realizadas e programar as atividades pendentes dentro de uma propriedade.

2.2 Histórico da agricultura de precisão no Rio Grande do Sul

A renovação constante de conceitos é uma característica intrínseca que a geração pós “Google” terá que se adaptar. Uma ideia que levaria na década de 70 mais de 20 anos para ser reconhecida em grande parte do mundo, hoje, com o advento dos recursos de comunicação, principalmente da internet, pode estar desatualizada um ano após o seu surgimento. No caso da AP, já se passou mais de uma década desde os primeiros trabalhos no RS e muitas ideias originais foram abandonadas no caminho e muitas outras adaptadas à nossa realidade (ACOSTA, 2010).

Quando a técnica foi introduzida no Brasil em 1997, se preconizava a necessidade de mapas de produtividade como o “primeiro passo” a ser realizado, seguindo os modelos de adoção norte-americanos e europeus, sem grande relevância ao mapeamento da fertilidade do solo. Historicamente, este fato tem origem no desenvolvimento da informática, eletrônica e geoprocessamento de dados voltados aos sensores de produtividade na década de 80, objeto de pesquisa nos primeiros dez anos da AP nos países desenvolvidos.

A partir de 1990, com a disponibilização do GPS (Global Position System), houve um considerável incremento nas pesquisas, trazendo novos conhecimentos de informática e eletrônica aplicada. Quando chegou ao Brasil, no final da década de 90, a AP encontrou um cenário diferenciado em relação ao seu local de origem. Recursos escassos para elevados investimentos iniciais em mapas de colheita e

falta de recursos humanos especializados para o manuseio dos equipamentos de precisão, foi o primeiro grande entrave na expansão da técnica. Diante desta situação, entra em cena, no ano 2000, o projeto Aquarius de Agricultura de Precisão, projeto pioneiro que envolvia as empresas privadas Stara, Massey Ferguson, Bunge e Fazenda Anna. No ano de 2005, com adesão da Universidade Federal de Santa Maria, através do Departamento de Solos, Setores de Geomática e o Núcleo de Ensaios de Máquinas Agrícolas (NEMA) e a Cooperativa Mista do Alto Jacuí (Cotrijal), no município de Não-me-toque, o projeto começa a ganhar a formatação atual, sendo considerado um dos precursores na adaptação da técnica à realidade brasileira (AMADO et al., 2006).

O trabalho combinado de pesquisa e difusão tecnológica transformou o projeto em uma referência nacional, além de ter sido a origem de vários profissionais prestadores de serviços e pesquisadores da técnica. Os trabalhos iniciais desenvolvidos no projeto mostraram que os mapas de colheita e a variabilidade dos principais nutrientes não tinham uma relação direta entre si. Porém, mostraram também que a otimização de corretivos e fertilizantes poderia trazer significativos retornos, dependendo da variabilidade de cada lavoura, pois diferentemente dos solos da maioria dos países desenvolvidos, os solos do sul do Brasil são naturalmente pobres e ácidos, com variabilidade acentuada pelos históricos de manejo (preparo convencional, erosão, entre outros).

Os custos do processo de coleta de solo, análise e geração dos mapas de fertilidade foram outro entrave ao processo, pois os produtores consideravam os custos elevados e preferiram fazer grids amostrais de 5 a 8 hectares, aplicando insumos por zona de manejo (Figura 3). Os resultados de todas as áreas mapeadas com esta metodologia foram abandonados ou estão sendo reamostrados com grids menores.

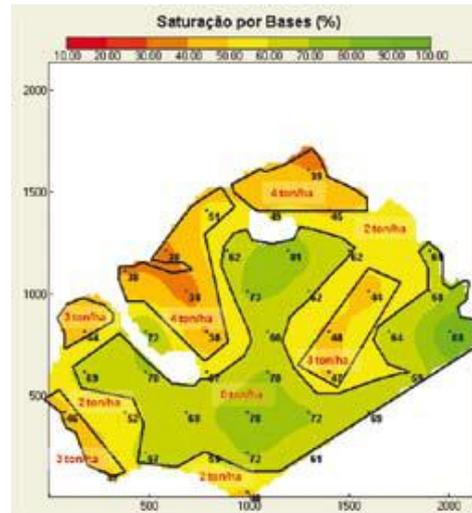


Figura 3 – Aplicação de calcário em zona de manejo em 2006 em função da falta de equipamento a taxa variável

Fonte: Drakkar Solos®.

Essa percepção de reduzir os grids aconteceu a nível comercial, onde as empresas, juntamente com os produtores, observaram diagnósticos mais precisos, conforme a grade amostral era reduzida. Em consequência, se conseguia corrigir de forma mais pontual as variações existentes nas lavouras.

A partir de 2005, com surgimento dos primeiros prestadores de serviços, em sua maioria alunos participantes do Projeto Aquarius, houve um aprimoramento dos mapas de fertilidade, principalmente com a redução gradual dos grids para 1 a 3 hectares. A adoção da AP começou a se expandir até encontrar a terceira grande barreira: tecnologia de aplicação à taxa variável (ACOSTA, 2010). A grande maioria dos equipamentos de aplicação era importada, cara e de difícil adaptação. As aplicações em zonas de manejo eram mais baratas, mas mais eficientes do que as aplicações em taxa fixa aplicadas até então.

Somente a partir de 2007 é que surgiram inovações tecnológicas na área de aplicação à taxa variável, com qualidade e escala suficiente para um novo ciclo de expansão em AP no Estado. Hoje se estima que há no Rio Grande do Sul mais de 800 mil hectares com algum tipo de mapeamento de solo e mais 100 equipamentos à taxa variável em uso, mas ainda representa menos de 20% da área potencial (AMADO, 2009).

À medida que os paradigmas vão sendo quebrados e os avanços tecnológicos sendo adaptados, há um incremento da adoção da AP. História muito

semelhante ocorreu com a adoção do sistema plantio direto há mais de 20 anos. Segundo o pesquisador, no início do processo, há um entusiasmo associado às expectativas positivas em relação à adoção da técnica. Entretanto, a falta de conhecimento, precisão e equipamentos específicos, levou a resultados pouco expressivos e ao abandono da técnica. Aqueles produtores que investiram no aprimoramento do processo, principalmente na qualidade da amostragem, aquisição de equipamentos específicos e na contratação de profissionais especializados para gestão das informações, são hoje referências de sucesso e são os principais responsáveis pela crescente adoção da AP no Estado.

Entre os anos de 2010 até 2014, ocorreu uma nova barreira técnica e institucional, principalmente associada à falta de profissionais especializados e a conhecimentos específicos que garantam eficiência da técnica para uma adoção mais ampla.

A adoção de novos fundamentos de manejo é sempre difícil, principalmente quando estes representam quebras de paradigmas estabelecidos. Especificamente, a adoção e a disseminação do sistema plantio direto no Brasil foram marcadas por dificuldades e incertezas. A AP passa pelas mesmas situações, principalmente quando usada em condições diferentes daquela para a qual foi concebida. Nesse sentido, adaptações são necessárias, para implantação dos conceitos da AP no sistema plantio direto. Sabe-se que a dinâmica, por exemplo, da fertilidade do solo, bem como as relações hidrológicas, o ciclo de vida de pragas e a incidência de plantas daninhas, são substancialmente modificadas nesse sistema. A presença de palha na superfície do solo é fator a ser avaliado para emprego de várias ferramentas da AP. Outro fator a ser considerado é o aumento da fertilidade na camada superficial do perfil solo. Assim, adaptações são necessárias e acredita-se que serão possíveis por meio do aproveitamento do vasto conhecimento gerado sobre o sistema por instituições de pesquisa brasileiras (PIRES, 2004).

Deste modo, entende-se que na intenção de sustentar a competitividade, há uma necessidade de aumento da eficiência nos setores da economia globalizada e isso, no que diz respeito à agricultura, não é diferente. O desenvolvimento da informática, das tecnologias em geoprocessamento e sistemas de posicionamento global, entre outras tecnologias, estão dando ao agricultor uma nova visão da propriedade, deixando de ser exclusivamente uma com particularidades

homogêneas, passando a diversas propriedades distintas dentro de uma só (TSCHIEDEL; FERREIRA, 2002).

Sendo assim, a AP se torna uma maneira de gerir um campo produtivo detalhadamente, analisando o fato de que cada porção do terreno pode exibir diferentes características, sendo seu fundamental conceito a aplicação de insumos em local, momento e quantidades adequadas à produção agrícola, tanto quanto a tecnologia e os custos envolvidos o permitam (ROZA, 2000; MANZATTO et al., 1999).

2.3 Mapas de colheita e mapas de produtividade

Estudos destacam a importância da profundidade do perfil do solo como condicionante ao crescimento de plantas (MEYER et al., 2007), da dinâmica hídrica (WANG et al., 2006), da produtividade de sistemas naturais (ROMANYA e VALLEJO, 2004) e do stand de plantas, devido, essencialmente, à sua influência no volume de raízes e no conteúdo de água disponível. Diferenças na profundidade, mesmo que dentro de uma mesma classe de solo, podem influenciar o desenvolvimento das culturas. A redução do volume de solo desfavorece a movimentação da água de superfície e subsuperfície, podendo afetar, ainda, a disponibilidade de nutrientes e o crescimento radicular (SOUZA et al., 2008).

Como as raízes são responsáveis pela sustentação das plantas e pela absorção de água e nutrientes (WAISEL et al., 2002), solos rasos podem limitar o estado nutricional e, conseqüentemente, a produtividade das culturas. O solo apresenta heterogeneidade e sua variabilidade espacial, horizontal e vertical, é dependente dos fatores de formação e aos relacionados ao manejo (JENNY, 1941; SOUZA et al., 2001). A heterogeneidade é uma característica intrínseca dos solos, porém, o sistema de cultivo utilizado acaba gerando maior variabilidade em seus atributos, principalmente os químicos (SOUZA, 1992; SANTOS et al., 2006).

Para recomendações de adubação, Sudduth et al. (1999), realizaram estudos visando definir a influência do solo e da altimetria do terreno sobre a disponibilidade de nutrientes às plantas, a fim de elevar a produtividade, com o uso racional de fertilizantes. De acordo com Krummel e Su (1996), há influência da altimetria do terreno na produtividade, havendo correlação com a retenção de água do solo,

disponibilizando mais ou menos água para as plantas, o que afeta diretamente a produção, proporcionando, assim, produtividades distintas em um mesmo talhão.

O estudo da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo tem a sua principal importância atribuída à aplicação de fertilizantes e corretivos em taxas variáveis (SILVA et al., 2007). Os mapas de produtividade produzem informações detalhadas e dão parâmetros para diagnosticar e corrigir as causas de baixas produtividades em algumas áreas do talhão, através da localização dada pelo GPS e mais as informações disponibilizadas pelos sensores instalados na máquina, como o sensor de produtividade e o sensor de umidade (MOLIN, 2000). O mapa de colheita, em relação aos fatores de produção, é a informação mais completa para visualizar a variabilidade espacial das lavouras (MOLIN, 2002).

Entretanto, várias outras ferramentas estão sendo propostas e testadas, visando identificar locais com valores distintos de produção em uma área, destacando-se o uso de fotografias aéreas, as imagens de satélite e a videografia. No entanto, nenhuma informação reproduz com maior fidelidade as condições de cultivo do que a própria resposta da cultura (MOLIN, 2002).

Balastreire et al. (1998), ressaltam a importância dos mapas de colheita para a AP, pois além de servirem como fonte de informações para elaboração de um plano de recomendação, ainda permitem uma visualização detalhada das condições da área (Figura 4). A interpretação do mapa de produtividade é imprescindível para a correção dos fatores de produção que persistem ao longo do tempo, tais como: variação do tipo de solo, acidez do solo em locais específicos, deficiência na aplicação de fertilizantes e locais com falta ou excesso de água (CAPELLI, 2009).

Mulla (1997), relacionou fertilidade com produtividade, dividindo um campo em alta, média e baixa produtividade. Porém, por ter comparado apenas dados de uma safra, não conseguiu boas correlações entre fertilidade e produtividade. Segundo Pontelli (2006), uma análise integrada entre mapas de solo e vários mapas de produtividade podem revelar importantes interações entre eles, exibindo relações com sub-regiões da lavoura, possibilitando, assim, definir estratégias de manejo.

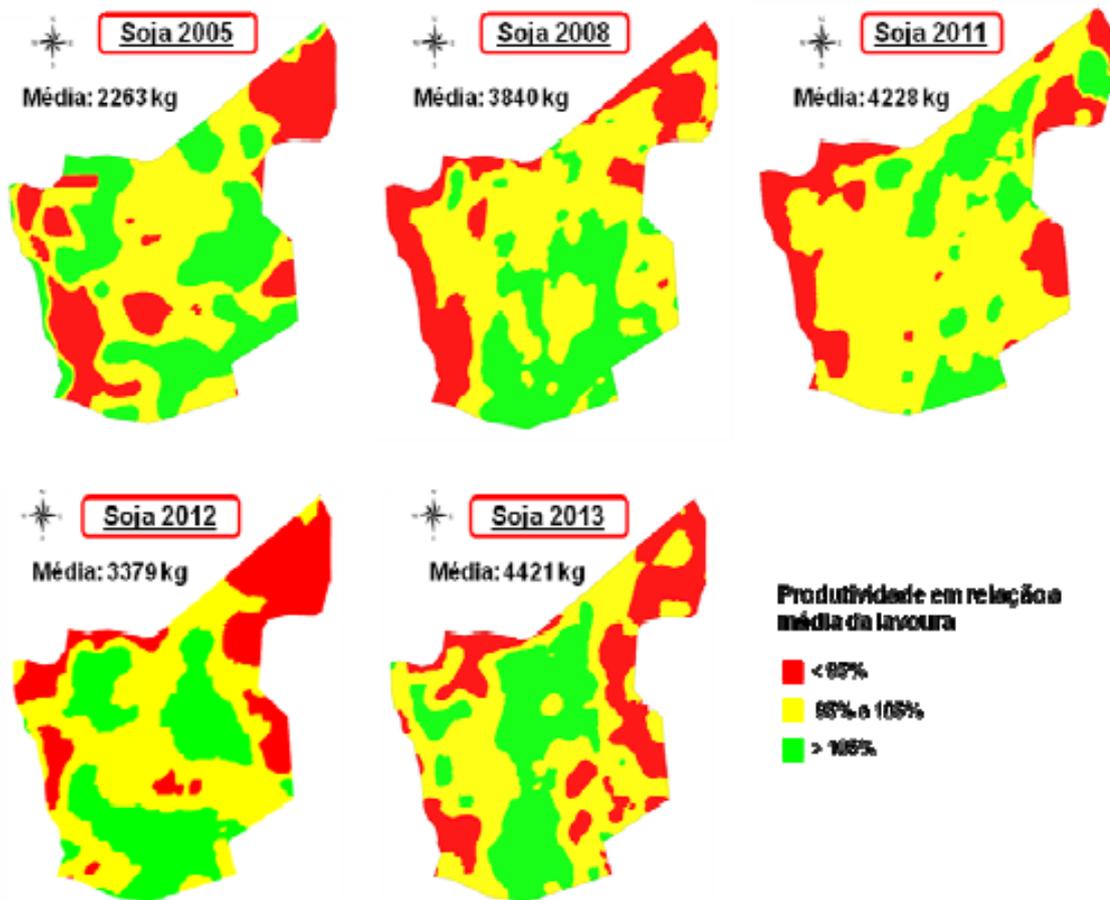


Figura 4 – Variabilidade horizontal da produtividade da cultura da soja em cinco safras em relação à média da lavoura em Coxilha – RS.

Fonte: Drakkar Solos®.

Em trabalhos realizados numa lavoura de 57 hectares, em Palmeira das Missões (RS), utilizando a ferramenta do mapa de produtividade, Amado et al. (2004) encontraram diferenças de rendimento de 1.500 a 4.200 kg por hectare de soja e de 4.500 a 9.000 kg por hectare de milho, em uma área com fertilidade do solo considerada adequada para o desenvolvimento das culturas analisadas. Esse estudo demonstra a grande variabilidade de produção encontrada nesta área, a qual indica à necessidade de se levar em conta a variabilidade existente no seu manejo.

Ao interpretar um mapa de colheita, com finalidade de futuras intervenções, devem-se observar as causas da variação, já que, para as que não persistem ao longo do tempo, pode-se ter pouco ou nenhum controle (QUEIROZ, 2000). Assim, temos muitos fatores que restringem a produção agrícola e, por isso, precisamos determinar algumas indicações para um melhor manejo das áreas com limitação

vertical e, conseqüentemente, um melhor aproveitamento dos recursos naturais, mantendo a sustentabilidade do sistema produtivo.

Para se avaliar, em muitos casos, a aptidão pedoclimática de culturas, a fertilidade do solo é considerada um parâmetro muito importante. Nas ações de modelagem ambiental, que abrangem a modelagem da fertilidade, propriedades químicas necessitam ser consideradas, espacializadas e associadas em ambientes de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) (BÖNISCH, 2001).

Na avaliação da fertilidade do solo, o processo de amostragem é a fundamental, pois se o mesmo for realizado de maneira errada, acarreta erros que terão reflexos na etapa final da adubação, gerando recomendações errôneas de quantidade e local a ser aplicado (CHEPORTE et al., 2005). E muitas vezes, o erro de amostragem é muito maior que o erro analítico que, normalmente, é abaixo de 5% nos bons laboratórios. Por isso, a precisão na avaliação da fertilidade do solo depende muito dos critérios de amostragem (CANTARUTTI et al., 2007).

Além disso, a variabilidade espacial dos atributos químicos do solo em condições de irrigação pode igualmente ser aumentada, pois com a maior assiduidade dos cultivos e as elevadas produtividades alcançadas, existirá maior exportação de nutrientes via colheita e, logo, apresentará maiores demandas por fertilização. Este fato demanda que se tenha a realização, em áreas irrigadas, de um acompanhamento mais frequente e detalhado dos atributos químicos e físicos do solo, do que em áreas de sequeiro.

Com isso, na maioria das vezes, mapas de fertilidade são aproveitados para que se tenha o planejamento das ações de correção de solo, sendo que quanto maior o número de informações coletadas para a organização deste mapa, maior sua relação à situação da realidade no campo. No entanto, isso pode trazer muitas vezes alguns problemas no procedimento de correção das propriedades químicas (GROENIGEN et al., 1999) ou mesmo a ausência de equipamentos apropriados que façam a distribuição de fertilizantes em taxa variável em áreas com muita variabilidade. Conforme entendimento de Raimo e Souza (2009), a aplicação em taxa variável de diferentes formulações e dosagens de fertilizantes agrícolas, de maneira localizada e precisa, é uma das fases mais importantes da AP e necessitam ser melhoradas ou desenvolvidos os equipamentos que sejam competentes para tais tarefas.

Deste modo para que se tenha o manejo diferenciado das propriedades agrícolas, é preciso que se faça a identificação da variabilidade espacial dos fatores, que em muitos casos comprometem a produção, como a fertilidade. Todas as técnicas envolvidas com a AP estão ligadas, de alguma forma, a esta identificação e agregadas ao uso do GPS, como por exemplo, o sensoriamento remoto, utilizando-se de imagens de satélites ou fotografias aéreas, sistemas de informações geográficas (SIGs), amostragem sistemática do solo (em malhas ou grade), tecnologias de aplicação em taxa variada, mapeamento da condutividade elétrica, sensores de plantas daninhas e doenças, monitor de colheita e mapeamento da fertilidade e da produção, entre outras (CIRANI e MORAES, 2010). Resumindo, são feitas as intervenções com base em um diagnóstico preciso e georreferenciado, diferente do modelo agrícola tradicional, que trabalhava pela média da lavoura.

No contexto que envolve à AP, de acordo com Molin (2002), a definição de zonas de manejo do solo, que consigam conceber que se tenham regiões homogêneas quanto a atributos que influenciam o desenvolvimento das culturas, é uma das fases consideradas mais desafiadoras, pois levanta questões e dúvidas de toda ordem. Os aspectos que geram, por muitas vezes, maiores dúvidas, estão catalogados em como interpretar toda a informação e transformá-la em aliada para o correto tratamento da variabilidade espacial. Esta variabilidade, que se reflete na colheita, em termos de diferenças de produtividade ao longo da área, pode apresentar origem nas mais variadas causas e de maneira alguma pode ser imposta a um só fator. Ainda para Molin (2002), outro desafio é apresentar elementos para a definição de unidades de manejo para posteriores intervenções.

Desta forma, em regra, é necessário que se tenha o conhecimento detalhado do solo da propriedade, pois assim será possível conseguir que se faça a devida correção nos locais apropriados e em dosagens exatas. Diminuir gastos com prováveis superdosagens, que podem apresentar danos à cultura e ao meio ambiente, diminuir perdas por subdosagens, que limitam a produção a quantidades menores que o potencial da cultura e explorar mais profundamente áreas da lavoura com maior potencial produtivo, são as expectativas a serem atendidas com o uso da AP (RAGAGNIN et al., 2010).

Salviano et al. (1998), realizaram o mapeamento da fertilidade do solo a uma profundidade de 0-20 cm, em uma área de 0,35 ha, onde verificaram variações no nível de P entre 5 e 32,5 mg dm⁻³, para Ca a variação ficou entre 0,20 e 3,31

$\text{cmol}_c\text{kg}^{-1}$ e, para saturação de bases (V%), variação entre 7,5 e 79,5%. Estes resultados demonstram que mesmo em uma área pequena, os teores do solo são extremamente variados.

Sendo assim, o mapeamento dos atributos químicos do solo é realizado afim de que se possa fazer o planejamento das atividades para futura correção deste solo, ou seja, a aplicação de um determinado corretivo ou fertilizante em dose variável. Estes atributos químicos passam por uma série de fases, desde a coleta e processamento de dados até que os resultados possam ser explicados, para que se tenha um planejamento de uma futura correção. Para isso, a geoestatística necessitaria ser seguida como sendo uma rotina em análises de dados, para permitir que se tenha maior exatidão científica nas recomendações (VIEIRA, 2000), através do mapeamento fundamentado nas características espaciais.

Qualquer que seja sua escala, o conhecimento da variabilidade dos predicados do solo, no espaço e no tempo, é considerado o princípio fundamental para o manejo centrado nas áreas agrícolas (GREGO; VIEIRA, 2005). Nesse sentido, Simões et al. (2006) ressaltam que, dentre outros, os atributos físicos do solo influenciam inteiramente o aumento da produtividade das culturas. Desta maneira, a AP é uma extraordinária ferramenta para avaliação da variabilidade espacial desses atributos na decisão de estratégias de manejo do solo, que buscam sempre aumentar a produtividade agrícola.

Os agricultores, conforme Molin (1997), de acordo com a tradição, têm feito a amostragem de solo de uma determinada área e uniformizam as sub amostras em uma única. Essa amostra passa a ser considerada como representativa das propriedades de fertilidade daquela área, adotada, por muitas vezes, como sendo uniforme. Com base nessa interpretação, fazem a aplicação de quantidades uniformes de fertilizantes, defensivos e sementes. No entanto, é sabido que as propriedades do solo mudam de local para local dentro dessa mesma área. Na agricultura de precisão, para Molin (1997), ao oposto da convencional, o estudo que se tem do campo é promovido pelo uso de tecnologia de geoposicionamento das análises. Presentemente, a maneira mais comum para a amostragem é o estabelecimento de uma rede de pontos espaçados regularmente no campo, denominada de grade. A localização dos pontos de coleta de dados, tanto para amostragem de solos, como para elaboração de mapas de aplicação e

produtividade, é realizado através do uso do Sistema de Posicionamento Global (GPS).

Deste modo, pode-se dizer que os mapas, que são, por muitas vezes, determinados durante a colheita pela própria colhedora munida com sensores e um sistema para posicionamento em campo (GPS), são estabelecidos de um grande número de pontos, onde se apresenta a produtividade georreferenciada. Mas, por muitas vezes, nem todos os pontos refletem a produtividade adequadamente, sendo comum, em alguns casos, a ocorrência de erros na coleta das informações, como monitor de peso e umidade descalibrados, diferença entre a entrada da cultura na máquina e a leitura errada que faz com que sejam marcados pontos de produção zero ou deslocados (MOLIN, 2000).

Portanto, para que não ocorram erros nas informações da variabilidade especializadas, fatores em cada talhão da propriedade necessitam ser considerados, determinando formas de correção e aplicações nos locais e momentos adequados, como calibração dos sensores no início da safra, orientação ao operador da colheitadeira sobre o funcionamento dos monitores, fatores esses que uma vez adotados, certamente trarão eficiência na produção, sem demandar maiores investimentos (FOCHT et al., 2004).

Deste modo o SIG e a AP podem colaborar no planejamento conservacionista, porque são ferramentas atuais, que, por sua vez, consentem o registro detalhado de entradas e saídas de insumos e produtos de uma unidade de área determinada. O enfoque da conservação de precisão é o de conservar o solo e água pelo meio da utilização de tecnologias espaciais integradas (GPS, SIG,...) para a seleção de práticas de manejo que podem elevar ao máximo os rendimentos, ao mesmo tempo em que diminuem o uso inútil de insumos e as perdas de sedimentos e agroquímicos das áreas agrícolas. A determinação da altimetria, dos fluxos preferenciais de água na lavoura e de áreas de risco de erosão pode colaborar para o aperfeiçoamento do manejo localizado do solo.

Em seus estudos, Santi (2007), concluiu que os atributos físicos, como macroporosidade e microporosidade, disponibilidade de água e a resistência à penetração do solo são fatores que produzem a maior ligação com o rendimento das culturas. Destaca ainda o papel da biologia do solo para gerar uma maior infiltração de água, gerando, portanto, um espaço mais favorável para as plantas manifestarem as suas potencialidades genéticas.

Sendo assim, a AP permite espacializar os atributos químicos, com a coleta de amostras de solo georreferenciada, com a ajuda das ferramentas de geoestatística, sendo repetidamente aproveitada, visando identificar zonas com restrições químicas que possam estar limitando o rendimento. Já a diferenciação e a espacialização dos atributos físicos do solo em áreas comerciais têm sido pouco empregadas, devido às dificuldades próprias ao processo de coleta e apreciação de grande quantidade de amostras. Também pode colaborar para o entendimento da variabilidade do rendimento (SILVA et al., 2003), uma vez que restrições ao crescimento radicular e decréscimos na quantidade de água disponível às plantas influenciam o rendimento das culturas e a eficiência de fertilizantes (DELIN; BERGLUND, 2005). Especificamente, a espacialização da compactação em áreas comerciais é importante por ter forte ligação inversamente proporcional com a produtividade, pois ela ocorre de forma descontínua (SILVA et al., 2004), adaptando-se ao manejo localizado.

Sendo assim, Molin et al. (2002), com a finalidade de testar a aplicabilidade da AP no que se refere à lavoura de café, executaram uma amostragem de solo em grade (50 x 50 m²). Os autores correlacionaram os mapas de produtividade com aqueles dos componentes da fertilidade química do solo, para considerar as possíveis relações das manchas da produtividade com as variações da fertilidade do solo, resultando em baixas correlações.

O mapa de colheita ou mapa de produtividade é uma ferramenta da AP, pois através dele é possível identificar e localizar espacialmente a produtividade das culturas, ajudando nos métodos investigativos na lavoura e no seu gerenciamento (HAN et al., 1994). Para Queiroz et al. (2000), os mapas de produtividade das culturas podem ser utilizados como ponto de partida na verificação das causas da variabilidade da produção nas lavouras, colaborando para o entendimento do potencial produtivo e o aperfeiçoamento do manejo do solo, buscando altas produtividades.

Deve apreciar a interpretação do mapa de produtividade, sobretudo, as causas sólidas de variabilidade, sendo de difícil identificação as causas desta variabilidade durante uma cultura apenas. Desse modo, Molin (2002) recomenda que seja feito mapas sequenciais de produtividade, para determinar unidades de gerenciamento, tendo, no mínimo 3 mapas da mesma área para se ter valores ou zonas de produção definidas.

Muito embora os mapas de colheita sejam importantes, se considerado o resultado final de todo o processo de produção, permitindo se visualizar a distribuição espacial da produção e a sua viabilidade exibem, em muitos casos, como limitação, a impossibilidade de distinção dos fatores de produção responsáveis pelos efeitos da colheita obtida, que possam justificar, por exemplo, a predominância de produtividades extremas em determinadas zonas que se repetem ou que se invertem. Sobretudo no que se refere aos locais com baixa produtividade, torna-se muito difícil à tarefa de correlacionar os resultados com algum fator de solo ou mesmo de manejo da cultura, uma vez que atuam de forma conjunta e associada. O resultado da colheita é fruto da interação de diversos fatores.

Embora o mapa de colheita forneça uma gama grande de informações, é muito difícil que as intervenções no campo sejam baseadas apenas neste mapa de rendimento. Na maioria das vezes, são aproveitados, em conjunto com outras ferramentas, tais como: mapas de ocorrência de pragas e ervas daninhas, compactação do solo, histórico de manejo, mapas de fertilidade, entre outros. Sua grande vantagem reside, justamente, na sua capacidade de divulgar, de forma praticamente clara, os resultados das ações e condições de cultivo realizadas, promovendo, sobremaneira, a tomada de decisão para outras investigações ou estudos (ZIMBACK, 2001).

Deste modo, a aplicação da AP no manejo da fertilidade do solo está entre as razões do grande crescimento de sua utilização pelos produtores, atraindo um grande número de empresas para a prestação dos serviços. A possibilidade de sucesso para os clientes e para as próprias empresas está na aptidão de gestão técnica das informações que a ferramenta possibilita. Como já aconteceu com o segmento de máquinas agrícolas, o exagero de otimismo e a crença em soluções simplistas podem levar a desapontamentos e ao descrédito da tecnologia. A complexidade de um sistema de produção determina muito mais que equipamentos sofisticados, sensores e sistemas de processamento de dados e informações: estabelecem que se tenham profissionais com excelente capacitação e experiência aceitável para avistar as multifacetadas dos sistemas de produção, capazes de gerenciar a variabilidade espacial e manejar em conjunto os fatores nela envolvidos (VELOSO, 2002).

Contudo, entende-se que quando se fala nas novas ferramentas da tecnologia, a AP vem sendo indicada como meio de gerenciar a variabilidade de

atributos de solo na propriedade e auxiliar o aperfeiçoamento do manejo do solo e das culturas. O aumento na eficiência se dá com baseamento no manejo diferenciado, respeitando a variabilidade existente na área. A conexão da computação e da eletrônica são os meios de se elevar os níveis de controle e monitoramento da atividade agrícola em locais específicos da lavoura. Pelo meio de análise detalhada das lavouras e do aperfeiçoamento das técnicas de manejo, novos graus de eficiência qualitativos e quantitativos da produção das culturas podem ser conseguidos consecutivamente. Deste modo, Amado et al. (2004), considerando mapas de rendimento, observou uma tendência para o aumento dos teores de matéria orgânica do solo (MOS), sendo esta variável a que apresentou maior correlação com a produtividade sob plantio direto.

3 MATERIAL E MÉTODOS

A área experimental está localizada na região fisiográfica do Planalto Médio do Rio Grande do Sul, no município de Coxilha (Figura 5), com altitude de 720 m, entre as coordenadas de latitude $28^{\circ}06'54.72''$ e longitude $52^{\circ}14'44.50''$, com o Datum WGS 1984. O solo é classificado como Latos solo Vermelho Distrófico típico (EMBRAPA, 2013), com plantio direto consolidado e estabelecido há mais de 15 anos, com culturas anuais de soja, trigo e milho. A região, segundo a classificação de Köppen, é enquadrada como subtropical úmida Cfa. A temperatura média anual é de $18,4^{\circ}\text{C}$, sendo a média das temperaturas máximas de $23,8^{\circ}\text{C}$ e das temperaturas mínimas de $12,7^{\circ}\text{C}$. É constituído por quatro estações razoavelmente bem definidas, com invernos moderadamente frios e verões quentes, separados por estações intermediárias, com aproximadamente, três meses de duração. As chuvas são bem distribuídas ao longo do ano, com média mensal superior aos 60 mm (NIMER, 1989), totalizando índices pluviométricos anuais de 1.500 a 1.750 mm.

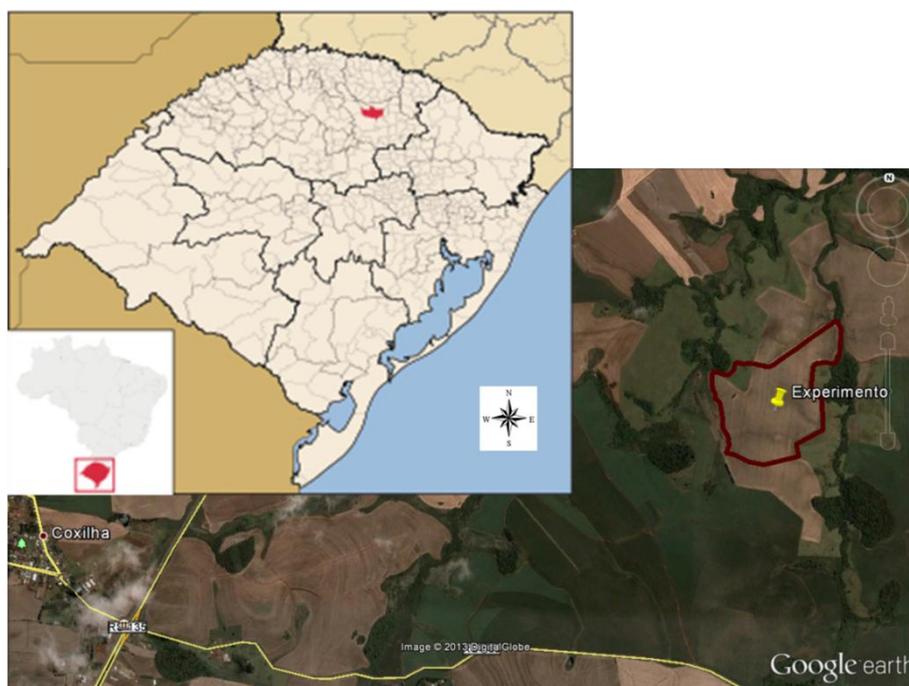


Figura 5 – Localização do município de Coxilha/RS e da área experimental

Fonte: Google Earth.

Os dados de produtividade para este estudo foram coletados a partir da safra agrícola 2004/05, constituindo-se o primeiro levantamento de produtividade do talhão, obedecendo a um procedimento que é composto da conferência de todos os componentes envolvidos no monitoramento da colheita (GPS, monitor de colheita, sensores, calibração do sistema estático e dinâmico, monitoramento da umidade ao longo do período de colheita, alteração do fator de calibração da cultura, entre outros). Desta forma, foram monitoradas as seguintes operações de colheita de soja: safra 2004/05, safra 2007/08, safra 2010/11, safra 2011/12 e safra 2012/13, constituindo, assim, 5 mapas de colheita de soja.

Os arquivos de colheita foram gerados com colhedoras CASE IH, com sistema EDGE (AG LEADER) e PF 3000 Advanced, equipadas com sensores de rendimento e umidade dos grãos, cartão para armazenamento de dados tipo PCMCIA e micro SD, com antena receptora de sinal com Sistema de Posicionamento Global. No que tange ao sistema Edge, cabe salientar a praticidade que este proporciona ao produtor, pois consiste em um monitor digital que facilita o manuseio da máquina.

A tecnologia embarcada nessas colhedoras permite que o equipamento registre e armazene, em um determinado intervalo de tempo, a posição (latitude, longitude e altitude) da máquina e a quantidade de produção por unidade de área. Para a aferição dos sensores do sistema, foram utilizados equipamentos que mensuravam o peso, umidade e impurezas na sede da propriedade, quando recebia a produção.

A cada nova colheita o operador tem que fazer a abertura de um “novo” trabalho, gravado no cartão de dados que, posteriormente, fornece informações sobre a área colhida, rendimento acumulado, tempo gasto, etc. Assim, com a utilização destes procedimentos, foi possível obter mapas de produtividade confiáveis, pois os valores foram comparados entre a colhedora e a balança.

Desta maneira, a quantidade de dados brutos foi transferida para o microcomputador, através do cartão de dados PCMCIA e micro SD. Os dados de colheita das áreas foram submetidos a um processo de filtragem, a fim de identificar e eliminar eventuais erros, como proposto por Menegatti (2002). Com auxílio do *software* CR-Campeiro 7, sistema agropecuário desenvolvido pelo Setor de Geomática do Departamento de Engenharia Rural da UFSM (GIOTTO; ROBAINA,

2007), as áreas foram divididas em quadrículas (células) com dimensões de 15 x 15 m.

Após a realização da filtragem dos dados de colheita, foram gerados modelos digitais de colheita de cada uma das safras agrícolas, onde as produtividades da área puderam ser comparados entre si ao longo dos 5 anos.

Para a determinação de zonas de potencial produtivo, foi utilizada uma metodologia que possibilita o agrupamento de quadrículas com o mesmo valor, ao longo de 3 safras agrícolas, proposta por Molin (2002), porém com quadrícula de 15 x 15 m (Figura 6), através dos seguintes critérios:

- Produtividade alta e consistente: produtividade do ponto acima de 105% da média do talhão e coeficiente de variação menor que 30%.
- Produtividade média e consistente: produtividade do ponto entre 95% e 105% da média do talhão e coeficiente de variação menor que 30%.
- Produtividade baixa e consistente: produtividade do ponto abaixo de 95% da média do talhão e coeficiente de variação menor que 30%.

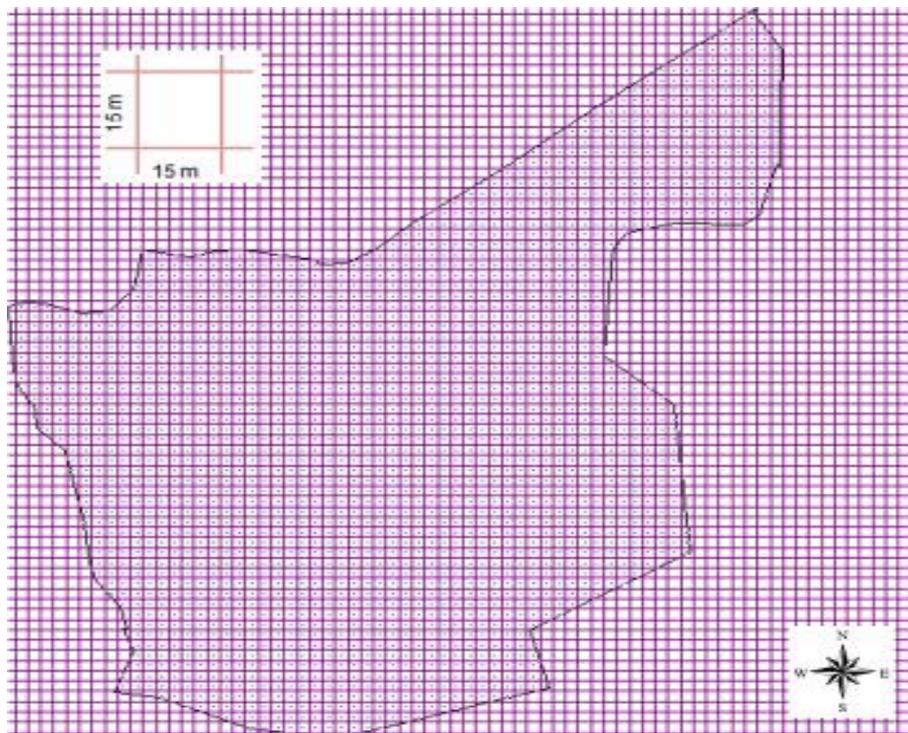


Figura 6 – Grade com células de 15x15 metros utilizada para fazer o cálculo da média pontual da produtividade de grãos de soja em Coxilha – RS.

Segundo Molin (2002), a utilização deste critério além de concentrar pontos da mesma classe permite que possamos delimitar unidades produtivas distintas (Figura 7).

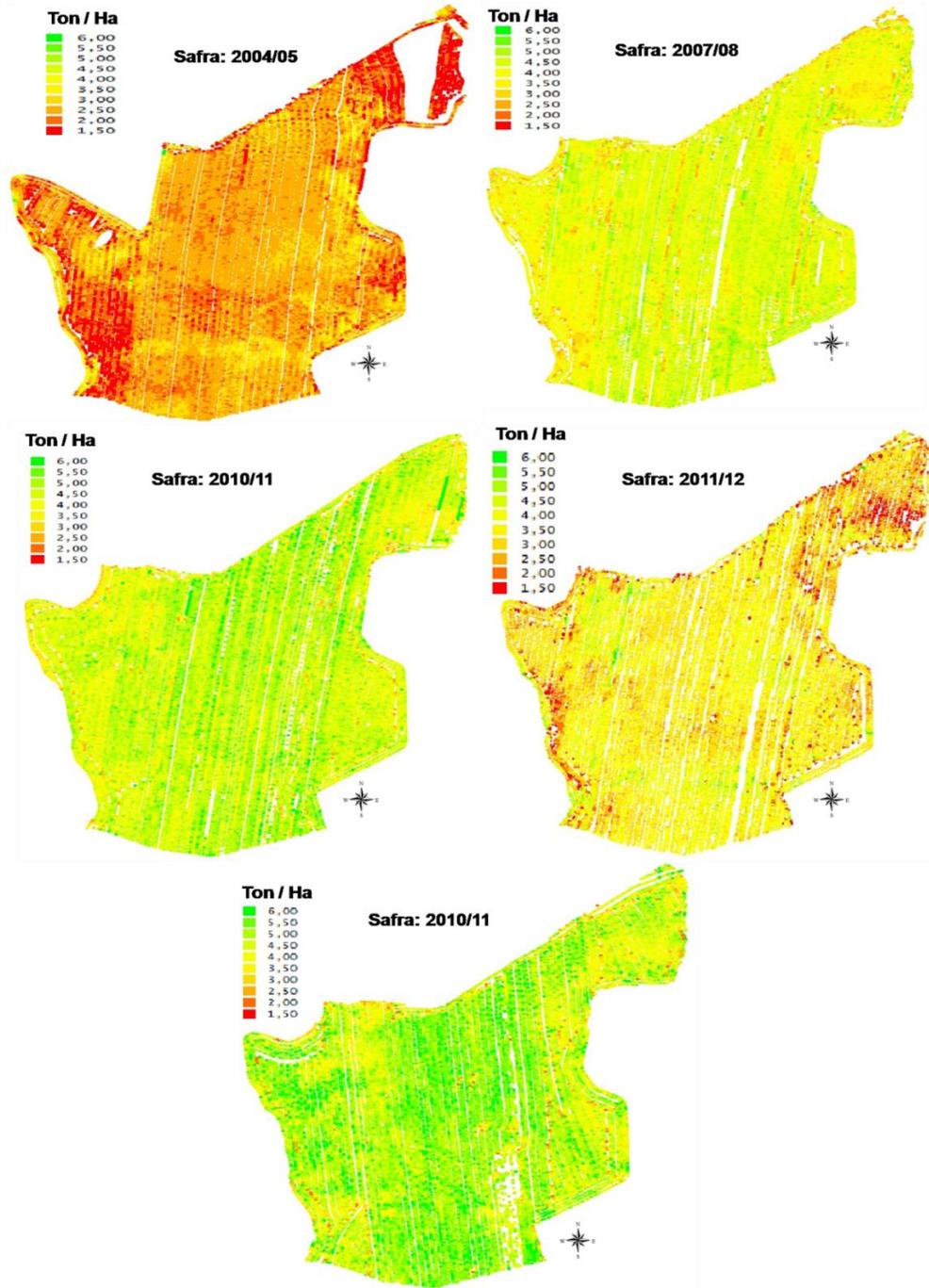


Figura 7 – Espacialização horizontal dos pontos de colheita após a filtragem dos dados de colheita de soja para as safras 2004/05, 2007/08, 2010/11, 2011/12 e 2012/13, em Coxilha - RS

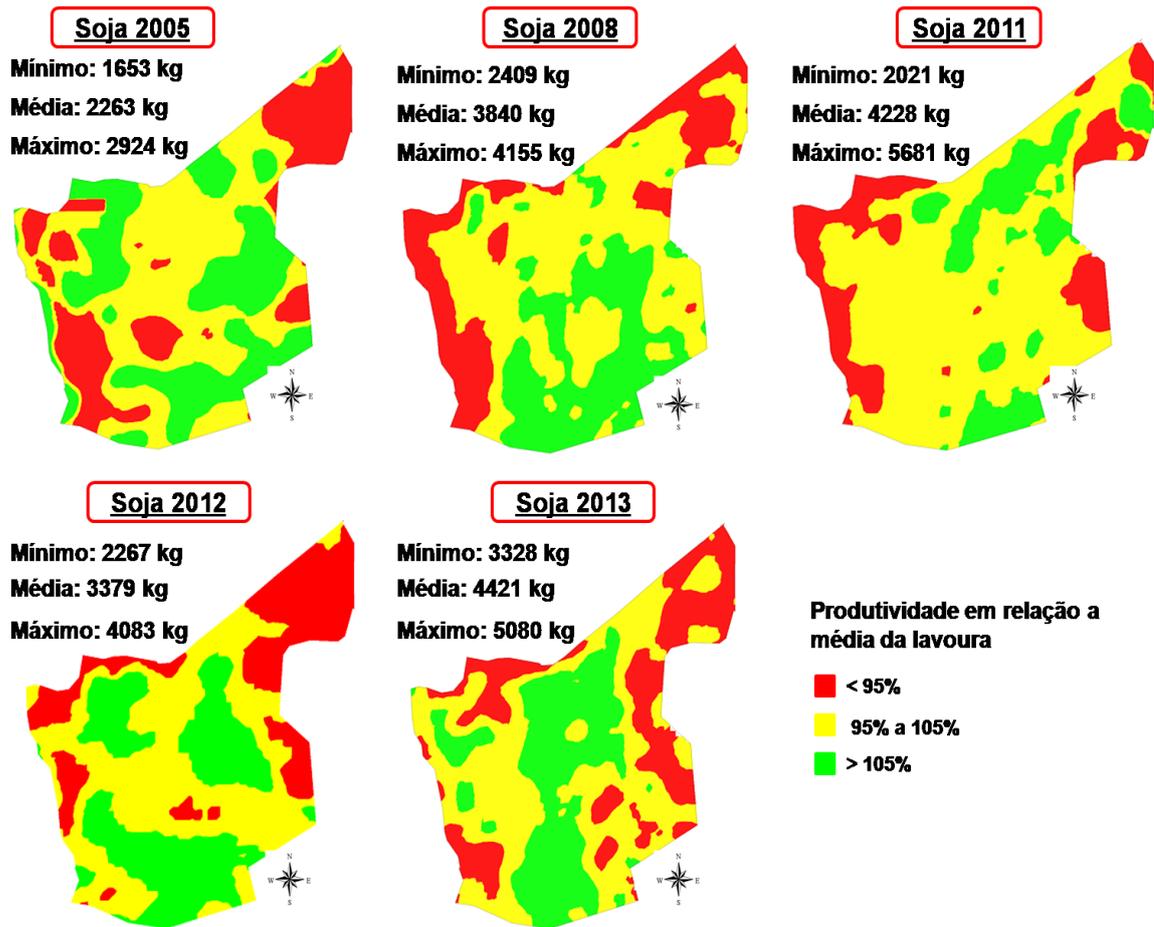


Figura 8 – Variabilidade horizontal da produtividade da cultura da soja em cinco safras, em relação à média da lavoura, em Coxilha - RS

Para a interpolação dos mapas foi utilizado o interpolador krigagem e, posteriormente, os atributos foram comparados entre si por estatística descritiva e ponto-a-ponto, em um raio de 35 m, através das correlações de Pearson, que é uma medida do grau de relacionamento entre duas variáveis. Para Cohen (1988), valores encontrados entre 0,10 e 0,29 tem como classificação pequeno ou fraco, valores entre 0,30 e 0,49 tem como classificação médio ou moderado e valores entre 0,50 e 1 podem ser classificados como grande ou forte, para dependência espacial (Figura 8).

Para coleta de amostras foi distribuído 5 pontos de coleta na zona de alta e 5 pontos de coleta na zona de baixa produtividade conforme Figura 9.

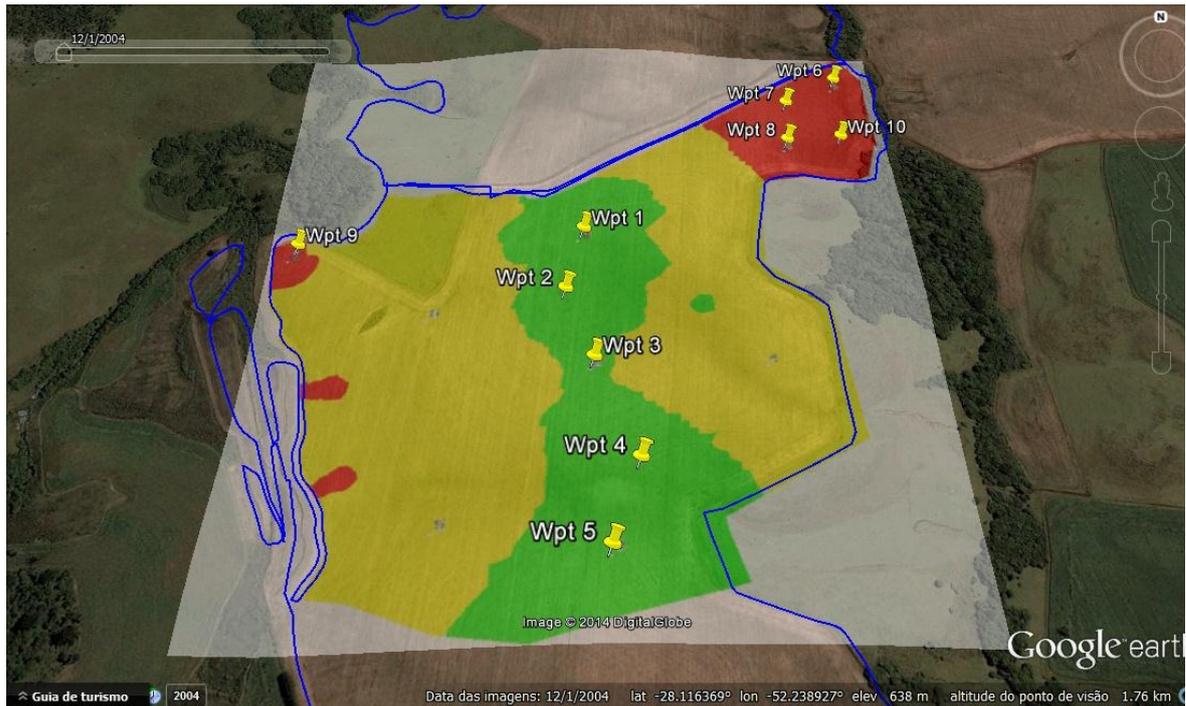


Figura 9 – Mapas de produtividade interpolados de 5 anos de colheita, com os pontos de coleta de solo

Para coleta foi utilizada, como ferramenta, uma pá de corte até a profundidade de 0,6 m e um trado tipo sonda caladora de 0,4 m, conforme Figura 10, para amostras de 0,6 m a 1 m. As amostras foram coletadas nas seguintes profundidades: 0 a 0,05 m; 0,05 a 0,1 m; 0,1 a 0,2 m; 0,2 a 0,3 m; 0,3 a 0,4 m; 0,4 a 0,5 m; 0,5 a 0,6 m; 0,6 a 0,8 m e 0,8 a 1 m, gerando, assim, 90 amostras, que foram enviadas para análise laboratorial dos atributos químicos do solo.

Para a localização dos pontos centrais de coleta de solo foi utilizado o GPS de navegação modelo Garmin Etrex®, sendo que a malha amostral anteriormente foi estruturada no software GPS Track Maker Pro e, posteriormente, transferida para o GPS de navegação, com a mesma configuração estabelecida.



Figura 10 – Amostradores de solo e equipamentos para abertura das trincheiras e remoção dos resíduos

As determinações químicas realizadas em laboratório, seguiram metodologias descritas por Tedesco et al. (1995) e Embrapa (1997).

Os atributos avaliados foram o pH em água (relação 1:1), o índice SMP, os teores de fósforo e de potássio, extraídos por Mehlich I e alumínio, cálcio e magnésio trocáveis, extraídos por KCl 1M. Também foi determinado o teor de argila das amostras, pelo método do densímetro. A partir desses dados foram calculadas as somas de bases, a CTC e saturação por alumínio. O conteúdo de carbono orgânico foi determinado pelo método de combustão úmida, descrito por Nelson e Sommers (1996), com dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$ 0,4N), por titulação com sulfato ferroso amoniacal, sendo os resultados expressos em teor de matéria orgânica. A classificação dos teores de fósforo e potássio no solo foi distribuída segundo metodologia oficial, proposta pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC (2004). A partir dos resultados das análises foram gerados gráficos comparativos entre as zonas de alta e baixa produtividade.

Os resultados analíticos das amostras de solo utilizados neste trabalho foram a matéria orgânica (MO), pH, saturação por alumínio (Al%), saturação por bases (V%), fósforo (P), potássio (K) e enxofre (S). Foi calculada a média de cada um destes atributos por profundidade e zona de manejo, sendo, posteriormente, gerados gráficos com auxílio do software Microsoft Excel[®].

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 pH e Saturação de alumínio

Conforme o Manual de Adubação e Calagem do Rio Grande do Sul (RS), no sistema plantio direto, as culturas de grãos apresentam seu desenvolvimento máximo quando o pH do solo está próximo de 6,0 na camada de 0 a 0,2m. Nessa condição, a solubilidade do Al e do Mn é baixa e estes não causam fito toxidez.

Observando o gráfico da Figura 11, é possível observar que o pH esteve mais alto em todo o perfil estudado na zona de alta produtividade, concordando com a recomendação técnica de que a produção é maior com o pH próximo de 6,0. Essa tendência refletiu na Saturação de Alumínio (Figura 12), que deixou mais evidente a presença do elemento tóxico a partir dos 0,50 m de profundidade.

Salienta-se ainda, que a classe do solo até os 0,20 m é classificada como 2 pelo teor de argila e a partir dos 0,20a 1m é enquadrado como classe 1.

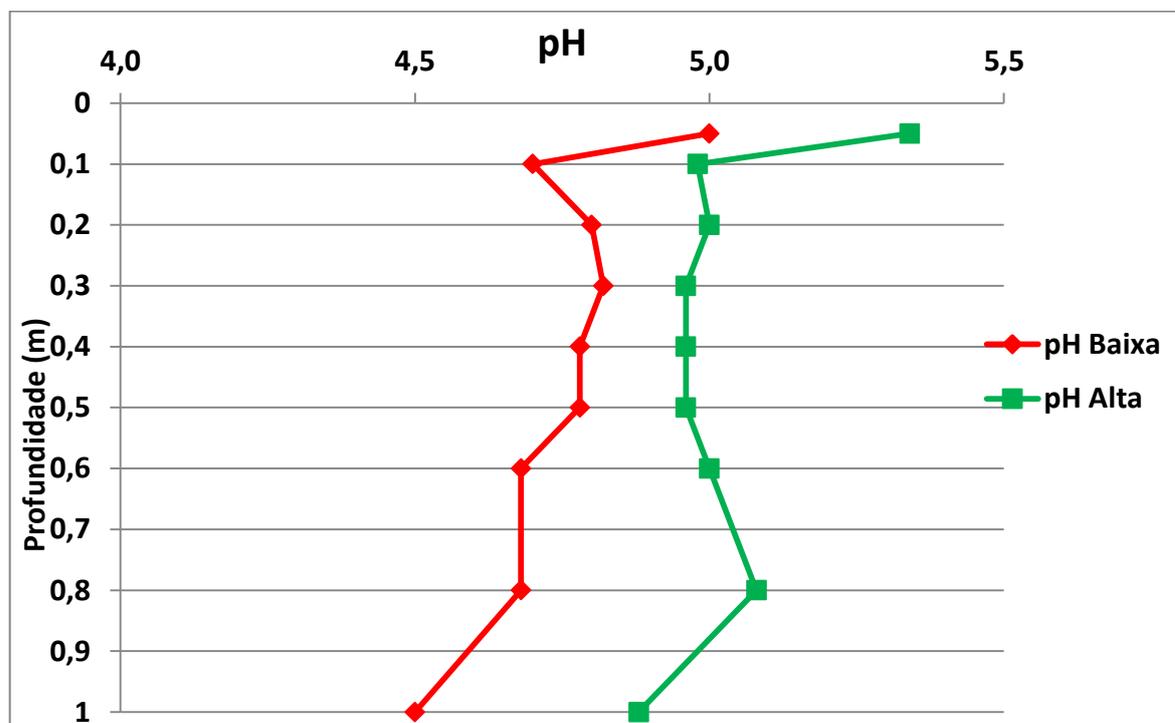


Figura 11 – Distribuição do pH do solo nas zonas de alta e baixa produtividade, ao longo da profundidade, em Coxilha - RS.

Ao analisar o gráfico acima, torna-se possível compreender as formas de distribuição do pH do solo nas zonas de alta e baixa produtividade, ao longo da profundidade e que o mesmo encontrou seu ápice nas altas zonas de produtividade.

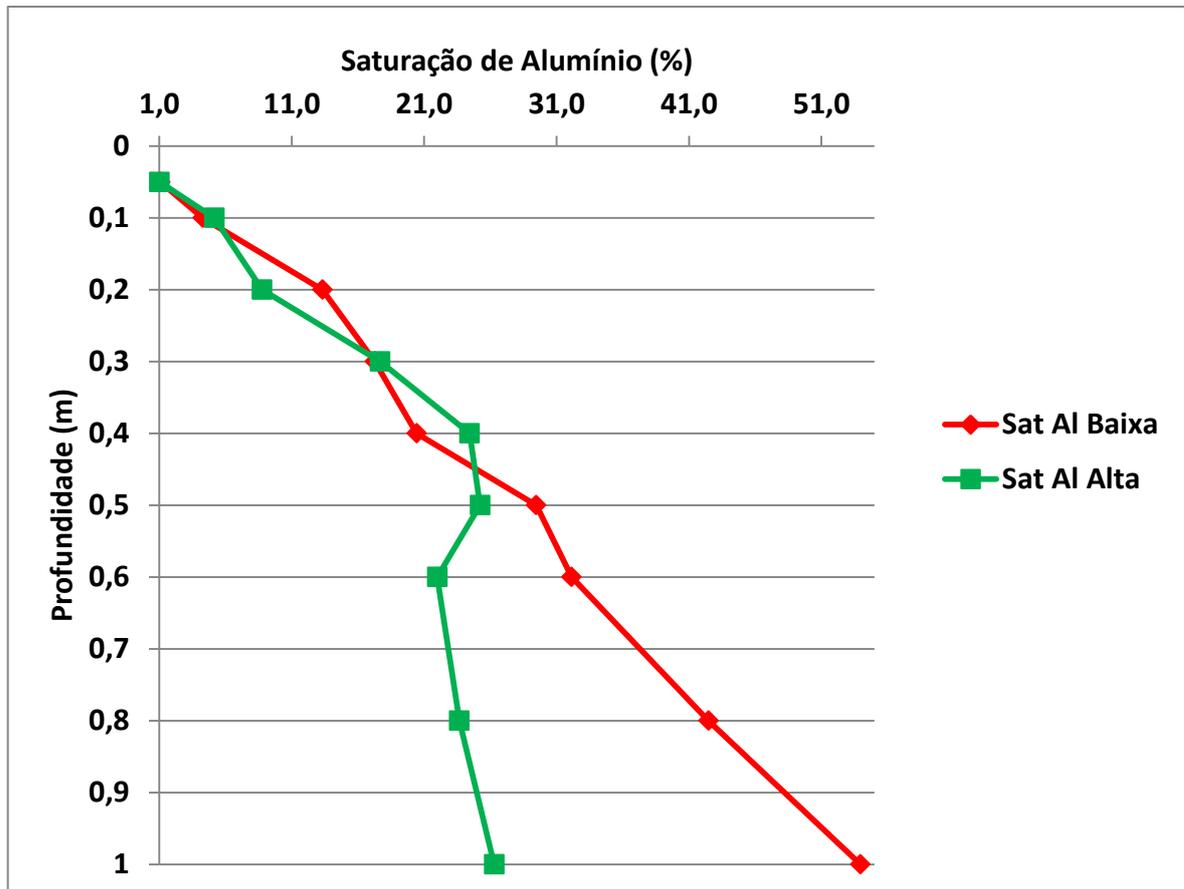


Figura 12 – Distribuição da saturação por alumínio do solo nas zonas de alta e baixa produtividade, ao longo da profundidade, em Coxilha - RS

O estudo acima demonstrado possibilita o entendimento de que quanto maior a profundidade, maior será a saturação de alumínio. Portanto, para se alcançar altos rendimentos, devem-se eliminar os fatores limitantes, como impedimento físico, níveis tóxicos de alumínio e carência de bases (SÁ, 1993).

O pH é a medida da concentração (atividade) de íons de hidrogênio na solução do solo e determina, juntamente com outros fatores, a disponibilidade de nutrientes (EMBRAPA, 2004). Em solos com pH excessivamente baixo ocorre a diminuição na disponibilidade de nutrientes como fósforo, cálcio, magnésio, potássio

e molibdênio, e aumento da solubilização de íons como zinco, cobre, ferro, manganês e alumínio que, dependendo do manejo do solo e da adubação utilizados, podem atingir níveis tóxicos às plantas (BRASIL, 1998).

A acidez nas camadas subsuperficiais, em caso de níveis tóxicos de Al e/ou deficiência de Ca, pode comprometer a penetração de raízes e a nutrição das plantas, deixando as culturas susceptíveis ao estresse hídrico. No Brasil, esse assunto adquire grande importância pela ocorrência generalizada de Al^{3+} trocável na maioria dos solos (OLMOS; CAMARGO, 1976).

4.2 Fósforo (P)

Os resultados obtidos (Figura 13) mostram que, na zona de alta produtividade, o P até os 0,20 m de profundidade encontra-se na faixa de médio a muito alto, enquanto que na zona de baixa produtividade, ficou na faixa de baixo a alto, conforme a classificação da Comissão de Química e Fertilidade do Solo do RS e SC (2004). A partir dos 0,20 m de profundidade, em ambas as zonas de manejo, a classificação para o nutriente é baixo ou muito baixo.

O gráfico da Figura 13 demonstra a distribuição do fósforo do solo nas zonas de alta e baixa produtividade, ao longo da profundidade, de modo que se torna possível a compreensão de que quanto maior a profundidade, menor será o nível de fósforo no solo.

O P tem funções importantes na planta, como constituinte de compostos de alta energia, como ATP, derivados do inositol (fitinas), fosfolípidios e outros ésteres. A absorção deste elemento por parte da planta é mais ou menos constante e a taxa de acumulação média geralmente não ultrapassa 0,4 kg/ha/dia (MOOY et al., 1973), o que determina que a sua disponibilidade na solução do solo seja fundamental para alcançar altas taxas de absorção e, dessa maneira, suprir as necessidades das plantas para obtenção de altos rendimentos.

Corrêa et al. (2004), encontraram que o sistema radicular da soja respondeu ao incremento de doses de até 50kg ha⁻¹ de P na profundidade de 0,15m e até 150 kg/ha⁻¹ de P na profundidade de 0,15 a 0,30m. Ou seja, a região de baixa fertilidade

tem uma resposta maior, proporcionalmente à adubação aplicada, se comparada com a parte mais superficial do solo, que recebe geralmente a fertilização fosfatada.

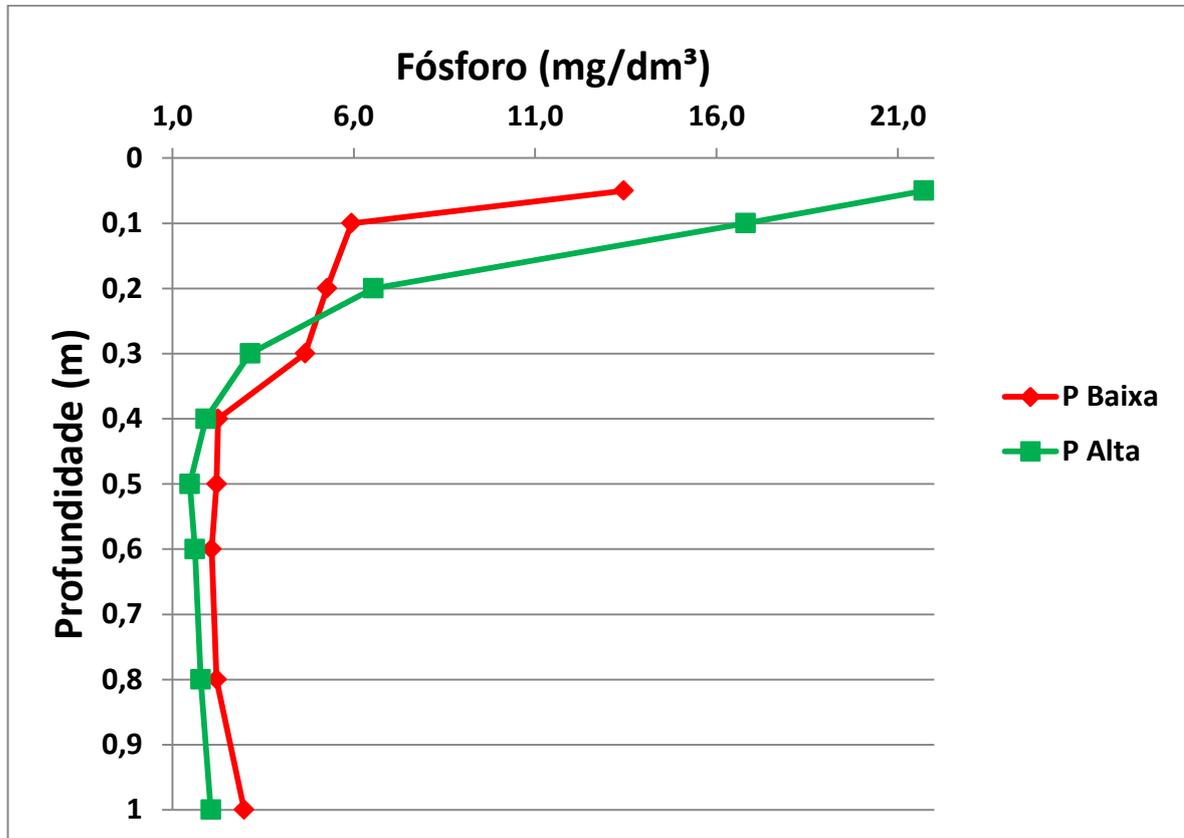


Figura 13 – Distribuição do fósforo do solo nas zonas de alta e baixa produtividade, ao longo da profundidade, em Coxilha - RS

4.3 Potássio (K)

Para o K, se observa na Figura 14 que houve uma resposta inversamente proporcional, ou seja, os teores nas zonas de alta produtividade encontram-se menores do que os obtidos na zona de baixa produtividade. Isso ocorre em função de que a exportação desse nutriente está sendo maior onde se produz mais e está havendo um déficit entre adubação e exportação.

O gráfico da Figura 14 evidencia a distribuição do K do solo nas zonas de alta e baixa produtividade, ao longo da profundidade, de modo que torna possível a

compreensão do nível deste elemento. Destarte, torna-se evidente que quanto mais profundo o solo, menos potássio é encontrado.

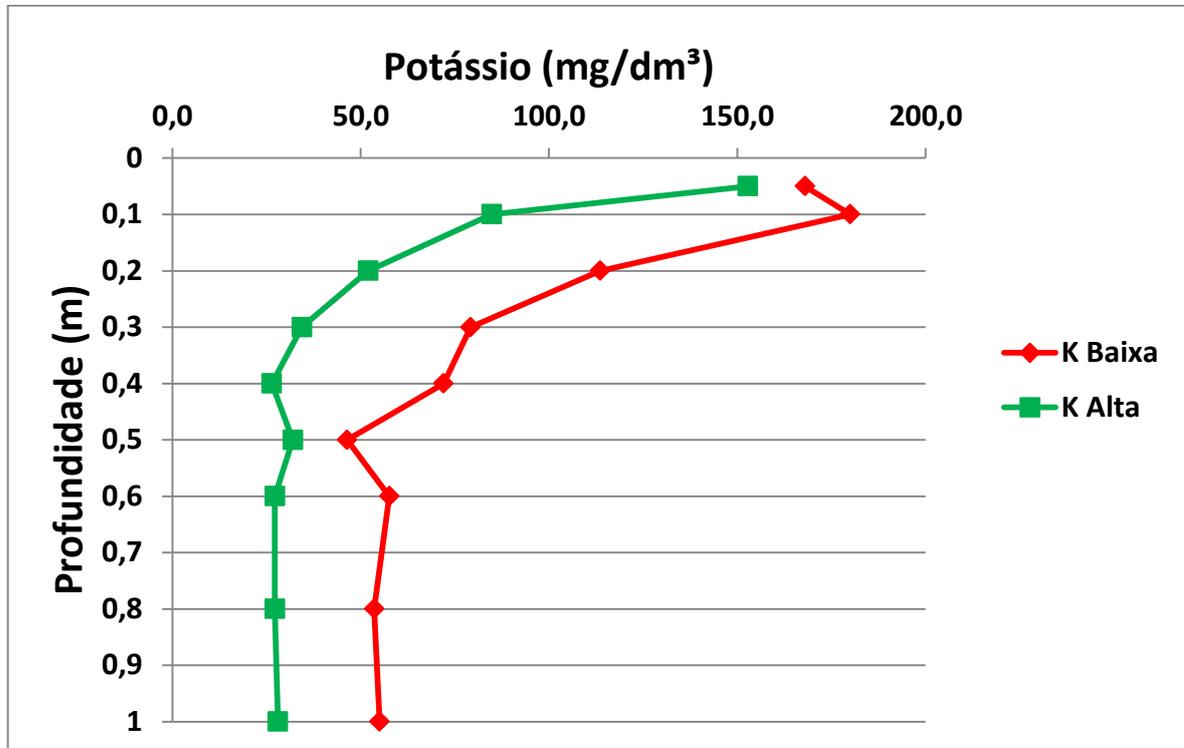


Figura 14 – Distribuição do potássio do solo nas zonas de alta e baixa produtividade, ao longo da profundidade, em Coxilha - RS

Depois do N, o K é o elemento absorvido em maiores quantidades pela planta de soja, sendo que a cada 1.000 kg de grãos produzidos, são extraídos 20 kg de K. Sob condições de baixo teor de K no solo, pode haver deficiência desse elemento nas folhas, sendo constatados sintomas como haste verde, retenção folhar e formação de frutos partenocárpicos na soja.

O K é também um elemento importante no processo de formação de nódulos fixadores de N, assim como no controle das seguintes doenças fúngicas: seca da vagem e da haste (*Phomopsis*), cretamento foliar e mancha púrpura das sementes (*Cercospora kikuchii*) e cancro da haste (*Diaporthe phaseolorum*) (TANAKA et al., 2004).

Os resultados obtidos neste experimento podem ser assim explicados. As aplicações de correção de K foram feitas antes do plantio do trigo e o produtor

utilizou como adubação na linha de semeadura somente MAP (08-48-00), na dose de 150 kg/ha e o potássio foi disponibilizado na forma de uréia cloretada (30-00-20), juntamente com a primeira aplicação de nitrogênio, na dose total de 180 kg/ha em cobertura, com expectativa de produção entorno de 4,0 toneladas/ha. Porém, a produtividade média de trigo em 2011, que foi de 4,5 toneladas/ha para este talhão, não contemplou a necessidade de manutenção de potássio da cultura. Já para a semeadura da cultura da soja em 2011/12, o fertilizante utilizado foi o 00-25-15-08 (NPK+S), na dose de 250 kg/ha, o qual o produtor, por motivos econômicos, na hora da compra do insumo e em função de o solo se encontrar com níveis elevados de potássio, não utilizou a dose mínima de K_2O que a cultura exporta numa produção média de 50 sacas/ha. Em função disso, é possível explicar os níveis de K menores nas zonas de alta produtividade. Pode-se perceber que na profundidade de 0,05 a 0,10 m, o teor de K está aproximadamente 2 vezes maior na zona de baixa produtividade.

Conforme a Comissão de Química e Fertilidade do Solo do RS e SC, a zona de baixa produtividade encontra-se com os teores de K classificados como alto e muito alto até a profundidade de 0,40 m. A partir dos 0,40 m até 1 m, o teor é classificado como médio, enquanto que na zona de alta produtividade, a classificação de alto ou muito alto é encontrada apenas até os 0,10 m. Entre 0,10 m e 0,30 m, o teor é classificado como médio e a partir dos 0,30 m até 1 m, como baixo.

4.4 Enxofre (S)

Foi observada uma relação positiva do S com a produtividade e uma linha de tendência semelhante entre ambas as zonas de produtividade, porém, de diferença de níveis maiores na zona de alta, a partir dos 0,30m de profundidade (Figura 15). Percebe-se, ainda, que na zona de alta produtividade o S se manteve em concentração acima de 10 mg dm^{-3} em toda a profundidade estudada, conforme recomendação da Comissão de Química e Fertilidade do Solo para as leguminosas. Já na zona de baixa produtividade, o S ficou com teores abaixo do recomendado a partir dos 0,50 m. Portanto, os resultados convergiram com os pesquisadores de que

esse nutriente é essencial para a vida das plantas e teve relação direta com a produtividade nesse estudo.

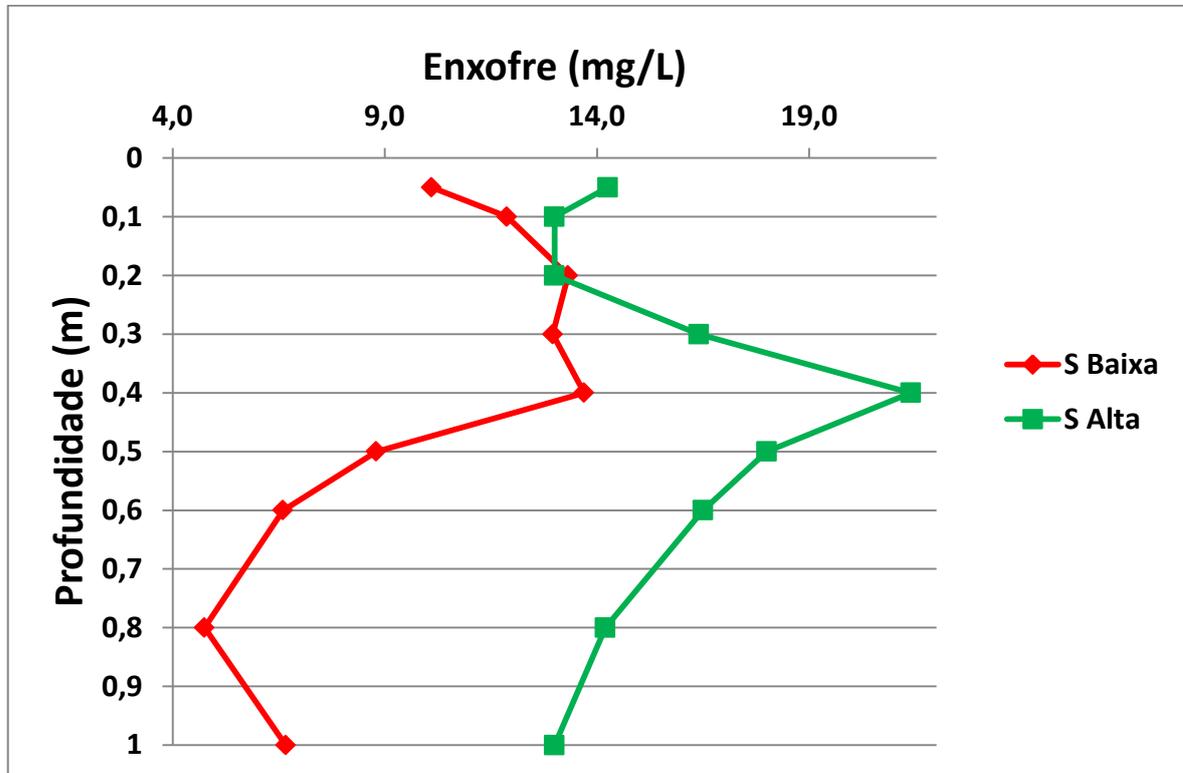


Figura 15 – Distribuição do S do solo nas zonas de alta e baixa produtividade, ao longo da profundidade, em Coxilha - RS

Em relação ao estudo do nível de S presente no solo nas zonas de alta e baixa produtividade, pode-se definir que este é bem irregular, haja vista que, conforme demonstrado no gráfico acima, a sua quantidade sofre oscilações frequentes, conforme o nível de profundidade analisado, além da influência da zona de baixa ou alta produtividade.

Dos macronutrientes essenciais para as plantas, o S é um dos elementos menos estudado. É absorvido na forma de sulfato e, além de ser um componente essencial das proteínas, ele ajuda a manter a cor verde das folhas, promove a nodulação nas fabáceas, estimula a formação das sementes e estimula o crescimento das plantas. Os sintomas de deficiência de S na planta são de fácil percepção, observados nas folhas novas com cor amarelada e nervuras ainda mais

claras, colmos e caules mais escuros e amarelados, com diminuição do crescimento das plantas. A falta de S é devido ao uso de adubos concentrados que não tem S, os quais podem ser substituídos por fontes tradicionais, como superfosfato simples e o sulfato de amônio.

O S no solo encontra-se na sua maioria na forma orgânica, por via microbiana, sendo convertido em produtos disponíveis às plantas. O S pode ser comparado com o P em exigências das culturas, que necessitam dos dois elementos mais ou menos nas mesmas quantidades (MALAVOLTA, 1980).

De acordo com Raij et al. (1996), o sulfato de amônio (22 a 24% de enxofre), o superfosfato simples (10 a 12% de enxofre), gesso agrícola (15 a 18% de enxofre), o sulfato de potássio (15 a 17% de enxofre), o sulfato de potássio e magnésio (22 a 24% de enxofre), o sulfato de cálcio (13% de enxofre) e o enxofre são as fontes mais comuns desse nutriente.

Segundo Richart et al. (2006), têm sido estudadas alternativas para se estimular a solubilização dos fosfatos, como a adição de S elementar (S^0), o qual é oxidado no solo por microrganismos do gênero *Thiobacillus*, favorecendo a solubilização dos fosfatos naturais reativos, bem como fornecendo S, originalmente insolúvel na forma de S elementar. Segundo Vitti et al. (2007), no mercado brasileiro, várias fontes de S são comercializadas, sem o embasamento científico suficiente para se justificar o uso crescente dessas formulações em adubação foliar.

4.5 Saturação de bases (V%)

Costuma-se dizer que o solo que apresentar a saturação por bases (V%) maior que 50% é considerado um solo eutrófico. São solos ricos em nutrientes, especialmente Ca. A CTC destes solos armazena mais da metade dos cátions básicos (LOPES, 2004). Uma camada eutrófica é encontrada na zona de alta produtividade até a profundidade de 0,3 m (Figura 16), enquanto que na zona de baixa produtividade, apenas até a camada de 0,10 m encontra-se V% maior que 50%, ou seja, apenas 33% da camada considerada fértil, se comparada com a de alta produtividade.

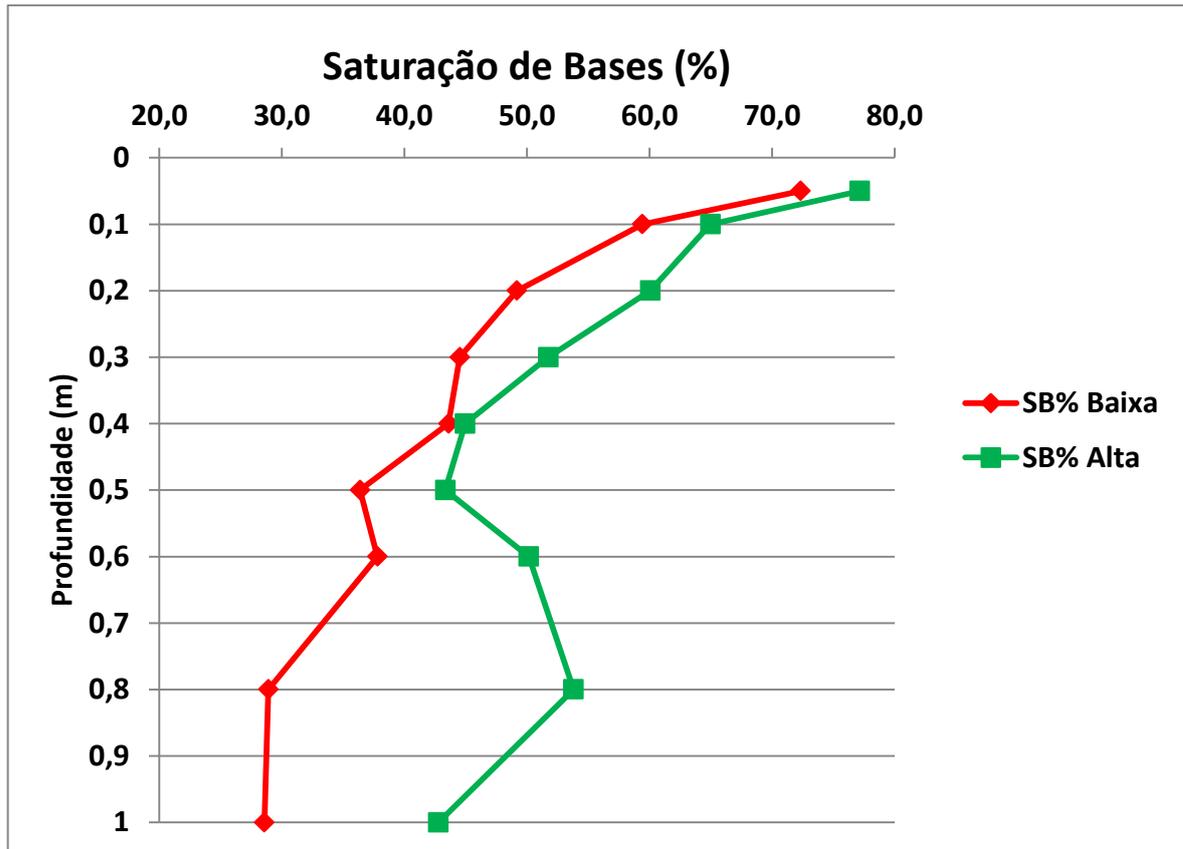


Figura 16 – Distribuição da saturação de bases do solo nas zonas de alta e baixa produtividade, ao longo da profundidade, em Coxilha - RS

No que se refere a saturação de bases do solo nas zonas de alta e baixa produtividade, pode-se concluir que quanto maior a profundidade do solo, menor será a saturação.

Os solos com V% menor que 50% seriam os solos distróficos ou pouco férteis. Os solos distróficos podem apresentar pobreza de bases trocáveis (Ca) e um alto teor de Al^{+3} trocável ou uma percentagem de saturação por Al^{+3} (m%) maior que 50%, o que os caracterizariam como solos "álidos", ou seja, Al^{+3} trocável igual ou maior que $0,3 \text{ cmol}_c\text{dm}^{-3}$ e m% igual ou maior que 50%.

Um V% baixo significa que as cargas negativas dos colóides do solo estão adsorvendo mais H^+ e Al^{+3} e pequena quantidade de cátions trocáveis (K^+ , Ca^{+2} e Mg^{2+}). Nestas condições, o solo será ácido e poderá conter Al^{+3} em nível de toxidez para a planta (BRAGA, 2004).

A percentagem de saturação por bases (V%) é muito utilizada, em alguns estados para cálculo da necessidade de calagem. O conhecimento da percentagem

de saturação por bases é muito importante para conhecer o nível de fertilidade do solo. Um solo que apresenta baixo V% significa que existe uma maior adsorção de Al^{3+} e H^+ e quantidades menores dos cátions básicos Ca^{+2} , Mg^{+2} e K^+ , adsorvidos nos coloides do solo. O Al^{3+} tóxico poderá aparecer nos solos ácidos, comprometendo o desenvolvimento radicular das plantas e menor absorção de água e nutrientes. O V% indica quantos por cento dos pontos de troca de cátions, nos coloides, estão ocupados por bases, ou, em outras palavras, quantos por cento das cargas negativas estão ocupadas por Ca^{+2} , Mg^{+2} e K^+ , em relação aos pontos de troca dos cátions ácidos Al^{3+} e H^+ (BRAGA, 2012).

4.6 Matéria Orgânica do solo (MOS)

A matéria orgânica (MO) é formada de organismos, resíduos de vegetais e de animais, em decomposição. É a principal reguladora da CTC do solo. Seu teor é utilizado como indicador da disponibilidade de nitrogênio. O carbono (C) orgânico participa com 58% na composição da matéria orgânica do solo. Os solos contêm carbono cerca de duas vezes mais do que a atmosfera e cerca de três vezes superior à presente na vegetação. A decomposição da matéria orgânica do solo libera CO_2 para a atmosfera e, desta, é absorvida, novamente, para formar a matéria orgânica. A fertilidade do solo depende de um conjunto de processos de natureza física e outros de natureza química. As principais causas desfavoráveis à fertilidade do solo são a erosão, a mineralização da MO, a impermeabilização, a compactação e a salinização. A matéria orgânica dá vida ao solo. Sem MO, viva ou morta, o solo não tem condições de promover o desenvolvimento de uma lavoura (BRAGA, 2010).

Embora alguns autores afirmarem que a MO determina grande parte da produtividade, no resultado obtido neste experimento, exposto na Figura 17, não se observou relações com a produtividade. Em ambas as zonas de produtividade observaram-se teores semelhantes de MO.

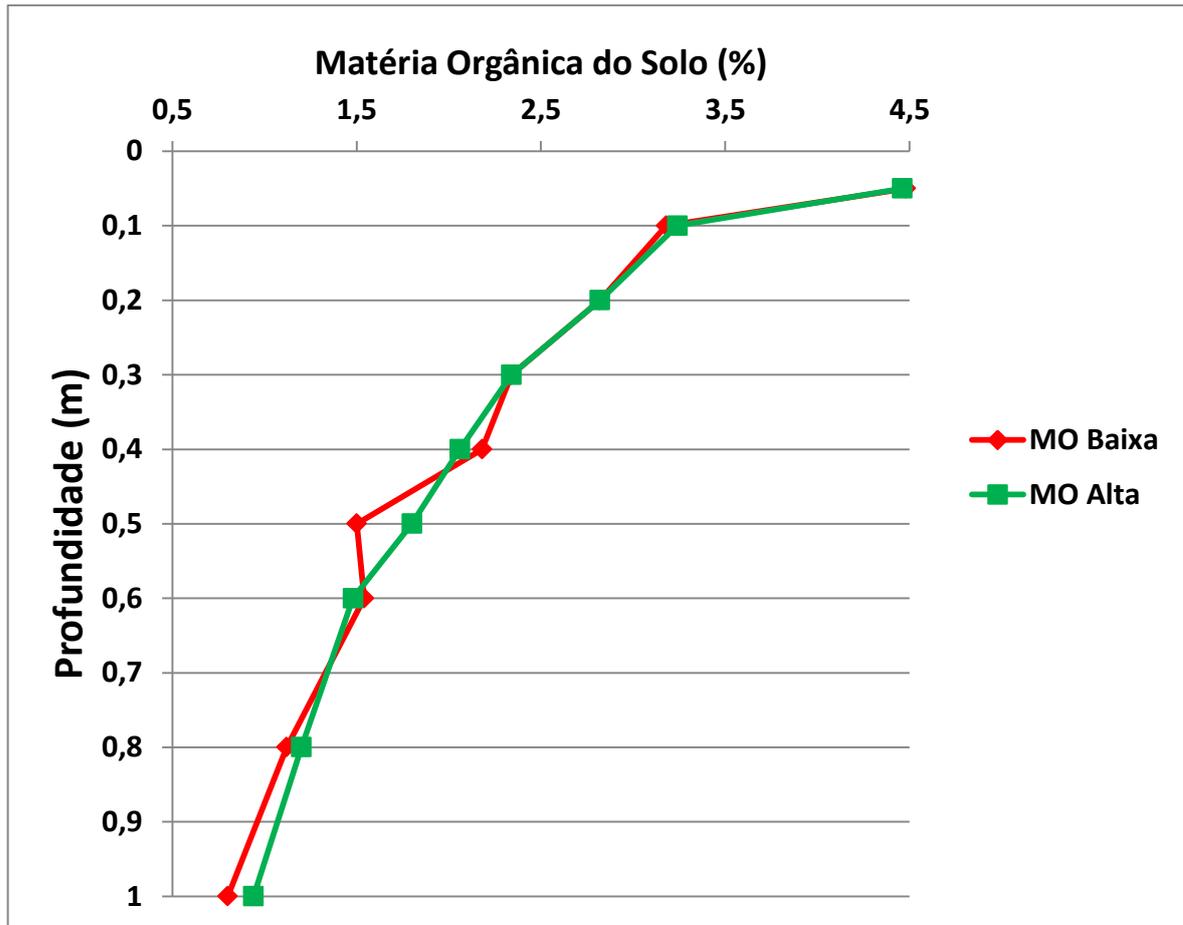


Figura 17 – Distribuição da matéria orgânica do solo nas zonas de alta e baixa produtividade, ao longo da profundidade, em Coxilha - RS

Em relação à distribuição da matéria orgânica do solo nas zonas de alta e baixa produtividade, pode-se destacar que essa prática ocorreu de forma decrescente, de modo que quanto maior a profundidade, menor foi o índice de distribuição da matéria orgânica do solo ao longo da profundidade.

5 CONCLUSÕES

- 1) O pH e saturação de bases e enxofre foram os atributos que deram maior relação com a produtividade em profundidade.
- 2) O fósforo teve influência positiva com a produtividade até os 0,20 m de profundidade.
- 3) A matéria orgânica não apresentou semelhanças com a produtividade.

REFERÊNCIAS

ACOSTA, J. A. A. **Constante Evolução**. Disponível em: <http://www.grupocultivar.com.br/arquivos/constanteevolucao.pdf>>Acesso em: 05 Jan. 2013.

AMADO, T. J. C. & SANTI, A. L. Agricultura de precisão aplicada ao aprimoramento do manejo do solo. In: FIORIN, J. E., (Ed.). **Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto**. Passo Fundo, Berthier, 2007. p. 99-144.

AMADO, T. J. C.; ELTZ, F. L. F. **Plantio Direto Em direção a sustentabilidade agrícola**. A Granja, Porto Alegre, v. 60, n. 672, p. 59-62, dez. 2004.

AMADO, T. J. C.; SANTI, L. A.; VEZANI, F. Agricultura de precisão como ferramenta de aprimoramento do manejo do solo. **Revista Plantio Direto**. Aldeia Norte, Passo Fundo, RS. 2004.

BALASTREIRE, L. A. **O estudo da arte da Agricultura de Precisão no Brasil**. Piracicaba, 2000. 224p.

BALASTREIRE, L. A.; ELIAS, I. A.; AMARAL, J. R. **Agricultura de precisão: mapeamento da produtividade da cultura do milho**. Engenharia Rural, n. 8, p. 97-111, 1997, INKER, J. C.; NOVAIS, R. F. de - Fundamentos para desenvolvimento da pedologia e da fertilidade do solo. Disponibilizado no site: <http://jararaca.ufsm.br/websites/dalmolin/download/textospl/fundame.pdf>. Acesso em: 20 de março de 2014.

BATALHA, M. O. **Gestão agroindustrial**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2001.

BERRY, J. K.; DELGADO, J. A.; KHOSLA, R.; PIERCE, F. J. Precision conservation for environmental sustainability. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, EUA, n. 58, v. 6, p. 332-339, 2003.

BOLETIM TÉCNICO AGRICULTURA DE PRECISÃO. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 3. ed., 2013.

BÖNISCH, S. **Geoprocessamento ambiental com tratamento de incerteza: o caso do zoneamento pedoclimático para a soja no Estado de Santa Catarina**. 2001. 189p. Dissertação (Mestrado) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

BRAGA, G. N. M. **A Matéria Orgânica do Solo**. Porto Alegre 2010. Disponível em <http://www.artigos.com/artigos/engenharia/agricola/a-materia-organica-do-solo-14382/artigo/#.U9WayfldVvg>. Acesso em 27 de Julho de 2014.

BRAGA, G. N. M. **Percentagem de Saturação por Bases (V%) na Análise do Solo**. Porto Alegre 2012. Disponível em <http://agronomiacomgismonti.blogspot.com.br/2012/07/percentagem-de-saturacao-por-bases-v-na.html>. Acesso em 24 de Julho de 2014.

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Recomendações técnicas para a cultura da soja na região central do Brasil**. Londrina, 1998. 44p.

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

CAPELLI, N. L. Agricultura de precisão - Novas tecnologias para o processo produtivo. <http://www.bases.cnptia.embrapa.br/cria/gip/gipap/capelli.doc> (15 Setembro 2008), In: FILHO, O. G. **Variabilidade espacial e temporal de mapas de colheita e atributos de solo em um sistema de semeadura direta**, Campinas – SP, 2009.

CHEPOTE, R. E.; SODRÉ, G. A.; REIS, E. L.; PACHECO, R. G.; MARROCOS, P. C. L.; SERÔDIO, M. H. C. F.; VALLE, R. R. **Recomendações de corretivos e fertilizantes na cultura do cacauzeiro no Sul da Bahia – 2ª aproximação**. Ilhéus: CEPLAC/CEPEC, 2005. 36 p.

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

CORÁ, J. E.; BERARDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo antes e após calagem e fosfatagem em doses variadas na cultura de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, v. 26, n. 2, p. 374-387, 2006.

CORRÊA, J. C.; MAUA, D. M.; ROSOLEM, C. A. **Fósforo no solo e desenvolvimento de soja influenciados pela adubação fosfatada e cobertura vegetal**. Universidade Estadual Paulista, 2004.

COSTA, M. C. G.; ALMEID, E. L. de; FERREIRA, T. O.; OLIVEIRA, D. P. de; ROMERO, R. E. Profundidade do solo e micro-relevo em bananais irrigados: impactos na nutrição mineral e potencial produtivo, **Revista Ciência Agrônômica**, v. 42, n. 3, p. 567-578, jul-set, 2011.

DAVIS, G.; CASADY, W.; MASSEY, R. **Precision agriculture: An introduction**. Water quality. University of Missouri - System, 1998.

DELGADO, J. A.; BERRY, J. K. Advances in precision conservation. **Advances in Agronomy**, Madison, n. 98, p. 1-44, 2008.

DELIN, S.; BERGLUND, K. Management zones classified with respect to drought and waterlogging. **Precision Agriculture**, 6:321-340, 2005.

DURIGON, R. **Aplicação de técnicas de manejo localizado na cultura do arroz irrigado (Oryza sativa L.)**. Tese Doutorado. 2007.

EMBRAPA. **Tecnologia em mecanização no Brasil**: Equipamentos e sistemas para o futuro. In: Seminário temático para prospecção de demandas em pesquisa e desenvolvimento em mecanização agrícola no Brasil, 1997, Sete Lagoas-MG. Disponível na Internet. <http://www.bases.cnptia.embrapa.br/cria/gip/gipap/seminario.doc>. Acesso em: 15 Out. 1999.

EMBRAPA. **Tecnologias de Produção de Soja Paraná 2004**. Disponível na internet. <http://www.cnpso.embrapa.br/producaosojaPR/fertilidade.htm>. Acesso em 22/07/2014.

FIGUEIREDO, D. **Conceitos Básicos de Sensoriamento Remoto**, 2005. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conabweb/download/SIGABRASIL/manuais/conceitos_sm.pdf>. Acesso em: 15.10. 2011.

FIORIN, J. E.; AMADO, T. J. C.; SCHNELL, A.; ALBA, P. J.; WYZYKOWSKI, T. Projeto AP coop nas cooperativas agrícolas do Rio Grande do Sul. **Revista Plantio Direto**, v. 115, p. 30-35, 2010.

FLOSS, E. L. **Fisiologia das plantas cultivadas**: o estudo que está por trás do que se vê. 5. ed. – Passo Fundo: Ed Universidade de Passo Fundo, 2011.

FOCHT, D.; ROLOFF, G.; SCHIEBELBEIN, L. M. Benefícios agronômicos, ambientais e monetários do uso da agricultura de precisão em diferentes cenários brasileiros. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO. Piracicaba, 2004. **Anais...** Piracicaba, 2004.

GREGO, C. R. & VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 29, p. 169-177, 2005.

GROENIGEN, V. J. W.; SIDERIUS, W.; STEIN, A. **Constrained optimization of soil sampling for minimization of the kriging**. *Geoderma*, v. 87, n. 3-4, p. 239-259. 1999.

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.

HONDA, B.; JORGE, L. A. C. Computação aplicada à agricultura de precisão. **Revista científica UNISEB**, Ribeirão Preto, v. 1, n. 1, p. 111-132, jan./jun. 2013.

KRUMMEL, J.; SU, H. Topographic Effect and its Relation to Crop Production. In: International conference of precision agriculture, 3. Minneapolis, 1996. Proceedings. Madison: ASA, CSSA, SSSA, 1996. p. 651-662. In: PERIN, G. F. **Determinação da capacidade e eficiência operacional utilizando técnicas de agricultura de precisão**, 2008.

LEMAINSKI, C. L. **Agricultura de Precisão em Áreas Irrigadas com Pivô Central no Rio Grande do Sul**, Dissertação de Mestrado, PPGEA, UFSM, 2007, p. 01-133.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. **Interpretação da Análise do Solo - Conceitos e aplicações**. ANDA, São Paulo. Ed. atual. 2004. 51p. Boletim Técnico, n. 2.

MALAVOLTA, E. **ABC da Adubação**. São Paulo: Editora: Ceres, 1989, p. 292.

MALAVOLTA, E. **Elementos de Nutrição Mineral de Plantas**. São Paulo: CERES, 1980, p. 251.

MANTOVANI, E. C.; COELHO, A. M.; MATOSO, M. J. Agricultura de Precisão. In: **Revista Agroanalysis** – Abril, 2005.

MANZATTO, C. V.; BHERING, S. B.; SIMÕES, M. **Agricultura de precisão: propostas e ações da Embrapa solos**. EMBRAPA Solos, 1999.

MAOHUA, W. **Possible adoption of precision agriculture for developing countries at the threshold of the new millennium**. Computers and Electronics in Agriculture, Amsterdam, v. 30, n. 1-3, p. 45-50, fev. 2001.

MEYER, M. D. et al. Influence of soil thickness on stand characteristics in a Sierra Nevada mixed-conifer forest. **Plant and Soil**, v. 294, p. 113-123, 2007.

MICHELON, C. J.; CARLESSO, R.; PETRY, M. T.; DAVID, G. SANTA, C. D. Qualidade física de solos irrigados do Estado do Rio Grande do Sul. **Ci Rural**, 37:1308-1315, 2007.

MOLIN, J. P.; CREMONINI, L. C. M.; MENEGATTI, L.; GIMENEZ, L. Acurácia de um monitor de produtividade com sensor de fluxo volumétrico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2000, Fortaleza. **Anais/CD-Rom** Fortaleza: SBEA, 2000.

MOLIN, J. P. Agricultura de precisão. Parte I: O que é estado-da-arte em sensoriamento. **Engenharia Agrícola**, v. 17, n. 2, p. 97-107, 1997.

MOLIN, J. P. **Agricultura de Precisão: Brasil ainda não se beneficia da agricultura de precisão**. São Paulo: 2003.

MOLIN, J. P. Definição de unidades de manejo a partir de mapas de produtividade. **Engenharia Agrícola**, v. 22, n. 1, p. 83-92, 2002.

MOLIN, J. P. Desafios **da agricultura brasileira a partir da agricultura de precisão**. In: SIMPÓSIO SOBRE ROTAÇÃO SOJA/MILHO NO PLANTIO DIRETO, 3, 2002, Campinas. 9 p. Disponível em: <<http://br.monografias.com/trabalhos/900/agricultura-precisao-produtores/agricultura-precisao-produtores2.shtml/>> Acesso em: 31 de dezembro de 2013.

MOLIN, J. P. Geração e interpretação de mapas de produtividade para agricultura de precisão. In: BORÉM, A. et al. (Eds.). **Agricultura de precisão**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, p.237-257, 2000.

MOLIN, J. P.; MENEGATTI, L. A. A. **Aplicação com taxa variável**: tratamento localizado. Cultivar máquinas, Pelotas. v. 3, n. 44, p. 22-26, 2005.

MOLIN, J. P.; RIBEIRO FILHO, A. C.; TORRES, F. P.; SHIRAI, L. E.; SARTORI, S.; SARRIÉS, G. A. **Mapeamento da produtividade de café e sua correlação com componentes da fertilidade do solo em duas áreas piloto**. Avanços na Agricultura de Precisão no Brasil no período de 1999-2001. Balastreire, L. A. Piracicaba, SP, 2002.

MOOY, de C. J.; PESEK, J.; SPALDON, F. Mineral nutrition. In: CALDWELL, B. E. (Ed.). **Soybeans**: improvement, production and uses. Wisconsin: American Society of Agronomy, 1973. p. 267-334.

MULLA, D. J. & SCHEPERS, J. S. Key processes and properties for site- specific soil and crop management. p. 1-18. In: (F. J. Pierce and E. J. Sadler, eds.), **The State of Site Specific Management for Agriculture**. ASA/CSSA/SSSA, Madison, WI. 1997.

OLMOS, I. L. J.; CAMARGO, M. N. Ocorrência de alumínio tóxico nos solos do Brasil, sua caracterização e distribuição. **Ciência e Cultura**, v. 28, p. 171-180, 1976.

PASSOS, A. M. A.; REZENDE, P. M.; ALVARENGA, A. A.; BALIZA, D. B.; CARVALHO, E. R.; ALCÂNTARA, H. P. Yield per plant and other characteristics of soybean plants treated with kinetin and potassium nitrate. **Ciência Agrotecnológica**. vol. 35, n. 5, p. 965-972, 2011.

PIRES, J. L. F.; CUNHA, G. R. da; PASINATO, A.; FRANÇA, S.; RAMBO L. **Discutindo Agricultura de Precisão– Aspectos Gerais**: Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do42.pdf> Acesso em: 27 Dez. 2013.

PONTELLI, C. B. **Caracterização da variabilidade espacial das características químicas do solo e da produtividade das culturas utilizando as ferramentas de agricultura de precisão**. 2006. 112p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria (RS).

QUEIROZ, D. M.; DIAS, G. P.; MANTOVANI, E. C. Agricultura de precisão na produção de grãos. In: BORÉM, A.; GIÚDICE, M. P.; QUEIROZ, D. M.; MANTOVANI, E. C.; FERREIRA, L. R.; VALLE, F. X. R.; GOMIDE, R. L. In: **Agricultura de Precisão**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, p. 2-42, 2000.

RAGAGNIN, V. A.; SENA JUNIOR, D. G.; SILVEIRA NETO, A. N. Recomendação de calagem a taxa variada sob diferentes intensidades de amostragem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. vol. 14, n. 6, p. 600-607, 2010.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. In: MASCARENHAS, A. A.; TANAKA, R. T. **Boletim Técnico 100 Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo**. FUNDAG, 2. ed. p. 202-203, 1996.

RAIMO, C.; SOUZA, E. A. C. **Desenvolvimento e análise de um protótipo para formulação, dosagem e aplicação de fertilizantes sólidos (N, P e K) a taxas variáveis de maneira localizada em máquinas de plantio direto**. In: III SEMINÁRIO DA PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA – Unesp – Bauru, 2009.

RICHART, A.; LANA, M. C.; SCHULZ, L. R.; BERTONI, J. C.; BRACCINI, A. L. Disponibilidade de fósforo e enxofre para a cultura da soja na presença de fosfato natural reativo, superfosfato triplo e enxofre elementar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 30, p. 695-705, 2006.

ROMANYA, J. & VALLEJO, V. R. **Productivity of Pinus radiate plantations in Spain in response to climate and soil**. *Forest Ecology and Management*, v. 195, p. 177-189, 2004.

ROZA, D. Novidade no campo: Geotecnologias renovam a agricultura. **Revista InfoGEO**, n. 11, jan/fev., 2000.

SALVIANO, A. A. C.; VIEIRA, S. R.; SPAROVEK, G. Variabilidade de atributos de solo e de *Crotalaria juncea* em área severamente erodida. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n. 1, p. 115-122, 1998.

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, O. G. R. **Eficiência de aplicação de insumos a taxa variável na correção do solo e uniformização da produtividade da cultura da soja através de mapas de agricultura de precisão**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

SILVA, F. M. et al. Variabilidade espacial de atributos químicos e da produtividade na cultura do café. **Ciência Rural**, n. 37, p. 401-407, 2007.

SILVA, V. R.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Variabilidade espacial da resistência à penetração em plantio direto. **Ci. Rural**, 34:399-406, 2004.

SILVA, V. R.; REICHERT, J. M.; STORCK, L.; FEIJÓ, S. Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico. **R. Bras. Ci. Solo**, 27:1013- 1020, 2003.

SIMÕES, W. L.; SILVA, E. L.; LIMA, D. M.; OLIVEIRA, M. S. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico, submetido a diferentes manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 30, p. 1061-1068, 2006.

SOUZA, Z. M.; SILVA, M. L. S.; GUIMARÃES, D. T. S.; CARVALHO, M. P.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos físicos em um Latossolo Vermelho distrófico sob semeadura direta em Selvíria (MS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 25, p. 699-707, 2001.

SOUZA, L. S. et al. Distribuição do sistema radicular de citros em uma toposseqüência de solos de tabuleiro costeiro do estado da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 503-513, 2008.

SOUZA, L. S. Variabilidade espacial do solo em sistema de manejo. 1992. 162p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, In: FILHO, O. G. **Variabilidade espacial e temporal de mapas de colheita e atributos de solo em um sistema de semeadura direta**, Campinas – SP, 2009.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial da estabilidade de agregados e matéria orgânica em solos de relevos diferentes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. vol. 39, n. 5, p. 491-499, 2004.

SOUZA, Z. M.; BARBIERI, D. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; CAMPOS, M. C. C. Influência da variabilidade espacial de atributos químicos de um latossolo na aplicação de insumos para cultura da cana-de-açúcar. **Cienc. Agrotec**, 31:371-377, 2007.

SUDDUTH, K. A. et al. Spatial Modelling of crop yield using soil and topographic data. In: EUROPEAN CONFERENCE OF PRECISION AGRICULTURE, 1. Warwick, 1997. Precision Agriculture 1997. Warwick: BIOS Cientific, 1999. p. 439-447, In: PERIN, G. F. **Determinação da capacidade e eficiência operacional utilizando técnicas de agricultura de precisão**, 2008.

TANAKA, R. T.; MASCARENHAS, H. A. A.; WUTKE, E. B.; BRAGA, N. R.; MIRANDA, M. A. C. **Potássio para a soja**. Disponível em: [http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/ED5BEE124EE957B483257AA2005AC216/\\$FILE/Jornal105.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/ED5BEE124EE957B483257AA2005AC216/$FILE/Jornal105.pdf). Acesso em 22 de julho, 2014.

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

TSCHIEDEL, M., FERREIRA, M. F. Introdução à agricultura de precisão: conceitos e vantagens. **Ciência Rural**, vol. 32, n. 1, p. 1-9, 2002.

VEIGA, A. A. F. **Importância da pesquisa tecnológica na agropecuária**. Disponível em: http://www.esalq.usp.br/cprural/artigos.php?col_id=48. Acesso em: 14 out. 2014.

VELOSO, C. A. C.; PEREIRA W. L. M.; CARVALHO, E. J. M. Diagnose nutricional pela análise foliar de pomares de laranjeira no nordeste paraense. **Revista Ciências Agrárias**, Belém, n. 38, p. 47-55, jul./dez. 2002.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em Estudos de Variabilidade Espacial do Solo. **Tópicos em Ciências do Solo**, vol. 1, p. 1-55, 2000.

VITTI, G. C.; FAVARIN, J. L.; GALLO, L. A.; PIEDADE, S. M. S.; FARIA, M. M. F.; CICARONE, F. Assimilação foliar de enxofre elementar pela soja. **Pesquisa agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 2, p. 229, 2007.

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