

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA
CAMPUS ITAQUI
CURSO DE GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

Variabilidade dos atributos do solo com o uso das técnicas de agricultura de precisão na cultura da soja

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Luis Fernando Estevo

**Itaqui, RS, Brasil
2013**

Luis Fernando Estevo

Variabilidade dos atributos do solo com o uso das técnicas de agricultura de precisão na cultura da soja

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Agronomia da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), como requisito parcial para obtenção do grau de **Engenheiro Agrônomo**.

Orientador: Eloir Missio

Itaqui, RS, Brasil
2013

Estevo, Luis Fernando.

Determinação da variabilidade do solo com o uso da agricultura de precisão na cultura da soja / Luis Fernando Estevo.

27/04/2012.

Número de folhas : 60 ; tamanho (30 cm)

Trabalho de Conclusão de Curso Agronomia

Universidade Federal do Pampa, data. Orientação: Eloir Missio

1. Taxa Variável. 2. Software. 3. Fertilidade. Missio, Eloir. Dr.

Luis Fernando Estevo

Variabilidade dos atributos do solo com o uso das técnicas de agricultura de precisão na cultura da soja

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Agronomia da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), como requisito parcial para obtenção do grau de **Engenheiro Agrônomo**.

Trabalho de conclusão de curso defendido e aprovado em: 27 de Abril de 2013.
Banca examinadora:

Prof. Dr. Eloir Missio
Orientador
Curso de Agronomia - UNIPAMPA

Prof. Dr. Elizete Beatriz Radmann
Curso de Agronomia - UNIPAMPA

Prof. Dr. Alexandre Russini
Curso de Agronomia - UNIPAMPA

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente a DEUS, por me dar esta vocação de exercer a profissão de Engenheiro Agrônomo, a minha família pelo apoio e incentivo e, minha namorada pelo amor e apoio neste momento.

AGRADECIMENTO

Primeiramente a DEUS.

Agradeço ao professor Dr. Eloir Missio pela sua orientação, competência e disponibilidade de auxiliar-me, a banca examinadora composta pela professora Dr. Elizete Beatriz Radmann e pelo professor Msc. Alexandre Russini que também me auxiliaram na conclusão deste trabalho.

Ao Engenheiro Agrônomo Rômulo Bittencourt Peres onde pude conhecer a técnica de agricultura de precisão e aprender devido a sua competência e dedicação a esta área.

A minha namorada Neiva Gelain pelo amor, compreensão e apoio para conclusão deste trabalho.

À minha família, em especial minha mãe Nelci e meus tios Algemiro, Lúcia, Mário e Teresinha, pois sem eles, sem o seu apoio e amor, não conseguiria suporte necessário para a conclusão de minha graduação.

Aos meus avós que apesar, de hoje não estarem presentes, sei que estão felizes por mais esta minha conquista.

EPÍGRAFE

“O segredo para a felicidade no trabalho reside em uma só palavra: EXCELÊNCIA. Faz bem aquele que gosta do que faz”.

(Autor desconhecido)

RESUMO

VARIABILIDADE DOS ATRIBUTOS DO SOLO COM O USO DA TÉCNICA DE AGRICULTURA DE PRECISÃO NA CULTURA DA SOJA

Autor: Luis Fernando Estevo

Orientador: Eloir Missio

Local e data: Itaqui, 25 de Abril de 2013.

Em todos os setores da economia globalizada, o aumento da eficiência é necessário para se manter a competitividade. Para a agricultura não poderia ser diferente, a evolução da informática, surgimento de tecnologias de geoprocessamento, sistemas de posicionamento global e muitas outras tecnologias, a agricultura adota uma nova visão de enxergar a propriedade rural, não mais como uma área homogênea, e sim como um conjunto de pequenas áreas, com características distintas e específicas. Assim, o objetivo deste trabalho foi identificar a variabilidade do solo e fazer as recomendações para a correção da acidez e dos nutrientes, assim como, avaliar a produtividade na cultura da soja em função da variabilidade do solo e da correção realizada, com a utilização do GPS de navegação, amostragem georreferenciada com GRID de amostragem de 5 hectares, análise em laboratório credenciado pelo ROLAS e interpretação e recomendação com base no manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Os mapas de fertilidade foram gerados pelo software *falkermap*, onde localizou-se os limitantes de produção e seus respectivos teores: pH do solo, Acidez Potencial, Saturação de Bases e Saturação de Alumínio, Teor de Magnésio e Cálcio para determinar a aplicação do calcário. A caracterização da fertilidade baseou-se pelos teores de: fósforo, potássio, Enxofre, Boro, Cobre, Zinco, além de, analisar o teor de Argila, Matéria Orgânica e Capacidade de Troca de Cátions (CTC) para caracterização da área. Os insumos Calcário, Fosfato Diamônico (DAP) e o Cloreto de Potássio (KCl) foram aplicados à taxa variável pelo implemento de distribuição a lança *Lancer Magnu 10.000 Plus* da marca JAN. Portanto, a aplicação à taxa variável para correção da acidez e da fertilidade é satisfatória para produtores rurais que buscam controlar sua unidade de produção, reduzindo custo e corrigindo deficiências nutricionais que antes não eram possíveis sem o emprego de tecnologias. Tornando-se a agricultura de precisão uma ferramenta fundamental para determinarmos as características físicas e químicas do solo, além de fornecer um relatório anual aos produtores rurais.

Palavras Chaves: Taxa Variável, *Glycine max* e fertilidade.

ABSTRACT

SOIL ATTRIBUTES VARIABILITY WITH THE USE OF PRECISION AGRICULTURE TECHNIQUE IN SOYBEAN CULTURE

Author: Luis Fernando Estevo

Mentor: Eloir Missio

April 25, 2013

Itaqui

In all sectors of global economy, the increase of efficiency is necessary to keep the competitive edge. For the agriculture, could not be different, with the informatics evolution, emergence of geoprocessing technologies, global positioning system and many other technologies, the agriculture adopt a new vision to the rural property, not as homogenous area but as a group of small areas with distinct and specifies characteristics. Therefore, this work purpose was to identify the soil variability and make the recommendation to the acidity and nutrients even as evaluate the productivity in soybean culture according to the soil variability and correction performed, using GPS, georeferenced sampling with five acres sampling grid, laboratory analysis accredited by ROLAS, interpretation and advice based on fertilization and liming guide for the states of Rio Grande do Sul and Santa Catarina. The fertility maps were produced by *FalkerMap* software, where was located the production limiting and its respective levels: soil pH, potential acidity, base saturation and aluminium saturation, magnesium and calcium content, to determine limestone application rates. The fertility characterization relied on the levels of phosphorus, potassium, sulphur, boron, copper, zinc, besides, clay analysis, organic matter analysis and cation-exchange capacity (CEC) for the area characterization. The limestone, diammonium phosphate (DAP) and potassium chloride (KCl) inputs were applied at a variable rate by the throwing implement distribution *Lancer Magnu 10.000 Plus* from brand JAN. The application to variable-rate is satisfactory for rural producers who seek to control their production line, reducing costs and correcting nutritional deficiencies that were not possible before without the use of technologies. Becoming, the precision agriculture a fundamental tool to determine the soil physical and chemical characteristics, in addition to providing an annual report to the rural producers.

Keywords: variable rate, *Glycine max* and maps.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ciclo da Agricultura de Precisão (AP).....	19
Figura 2: Mapa do Estado do Rio Grande do Sul com a localização do município de Santiago.....	25
Figura 3: GPS de navegação da marca GARMIM - eTrex Vista® HCx.....	26
Figura 4: Mapa de contorno da área de estudo.....	27
Figura 5: Mapa da malha de amostragem com os pontos georreferenciados.....	27
Figura 6: Distribuidor Lancer Magnu 10.000 Plus para aplicação do calcário e dos fertilizantes à taxa variável.....	29
Figura 7: Representação Visual da <i>Lei do Mínimo</i> de Liebig.....	33
Figura 7: Mapa de pH do solo.....	34
Figura 8: Mapa de saturação por bases.....	35
Figura 9: Mapa de saturação por alumínio.....	35
Figura 10: Mapa de acidez potencial.....	36
Figura 11: Mapa de aplicação do calcário.....	37
Figura 12: Aplicação do calcário à taxa variável no momento da variação de doses.....	38
Figura 13: Monitor do GPS de navegação agrícola, caracterizando a área aplicada de calcário.....	38
Figura 15: Mapa com de teor de argila no solo para a área em estudo.....	39
Figura 16: Mapa dos teores disponíveis de fósforo no solo no ano de 2011 para a área em estudo.....	40
Figura 17: Mapa da Capacidade de Troca de Cátions (CTC) no solo.....	41
Figura 18: Mapa de teores disponíveis de potássio no solo no ano de 2011 para a área em estudo.....	42
Figura 19: Mapa de teor de Matéria Orgânica (MO) no solo da área de estudo em 2011 ..	43
Figura 20: Mapa de teores disponíveis de Magnésio (Mg) no solo para a área de estudo em 2011.....	44
Figura 21: Mapa de teores disponíveis de Cálcio (Ca) no solo para a área de estudo em 2011.....	44
Figura 22: Mapa de teores disponíveis de Enxofre (S) no solo para a área de estudo em 2011.....	45

Figura 23: Mapa de teores disponíveis de Boro no solo para a área de estudo em 2011	46
Figura 24: Mapa de teores disponíveis de Cobre no solo para a área de estudo em 2011. .	46
Figura 25: Mapa de teores disponíveis de zinco no solo para a área de estudo em 2011 ...	47
Figura 26: Mapa de aplicação do DAP à taxa variável no primeiro ano de cultivo, safra 2011/12	48
Figura 27: Mapa de aplicação do DAP à taxa variável no segundo ano de cultivo, safra 2012/13	48
Figura 28: Mapa de aplicação do KCl à taxa variável no primeiro ano de cultivo, safra 2011/12	49
Figura 29: Mapa de aplicação do KCl à taxa variável no segundo ano de cultivo, safra 2012/13	50
Figura 31: Gráfico com os teores iniciais no solo e os teores adequados do nutriente para cada gleba	52
Figura 32: Gráfico com os teores iniciais no solo e os teores adequados do nutriente para cada gleba	52
Figura 33: Gráfico demonstrativo de aplicação do fósforo	53
Figura 34: Gráfico demonstrativo de aplicação do potássio.....	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação de espécies em relação ao pH do solo	30
Tabela 2: Quantidades de calcário necessários para elevar o pH em água do solo a 6,0, estimadas pelo índice SMP	31

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
2 REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1 Variabilidade espacial de atributos do solo	17
2.2 Agricultura de precisão (AP).....	18
2.3 Ciclo da agricultura de precisão (AP).....	18
2.4 Benefícios da agricultura de precisão (AP)	19
2.5 Dificuldades da agricultura de precisão (AP).....	20
2.6 Equipamentos utilizados em agricultura de precisão (AP).....	20
2.7 Mapas de produtividade.....	21
2.8 Técnicas geoestatísticas utilizadas em agricultura de precisão (AP)	22
2.9 Correlações entre atributos de solo e produtividade.....	23
2.10 Aplicação de insumos à taxa variável.....	23
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	25
3.1 Localização da área de estudo	25
3.2 Mapeamento da área e georreferenciamento das amostras	26
3.3 Determinação dos atributos químicos do solo	27
3.4 Software para geração dos mapas de acidez e fertilidade	28
3.5 Equipamento de aplicação à taxa variável (TV) utilizado.....	28
3.6 Critérios na geração dos mapas de aplicação à taxa variável	29
3.7 Lei do mínimo	32
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
4.1 Geração dos mapas de acidez e aplicação do calcário.....	34
4.2 Geração dos mapas de fertilidade.....	38
4.2.1 Análise da disponibilidade dos macronutrientes	39
4.2.2 Análise da disponibilidade dos micronutrientes.....	45
4.2.3 Aplicação dos fertilizantes à taxa variável	47
4.3 Geração dos mapas de produtividade	50
4.4 Discussão da aplicação dos fertilizantes a taxa variável	51
5 CONCLUSÃO.....	55
6 REFERÊNCIAS	56

1 INTRODUÇÃO

A necessidade do aumento da eficiência em todos os setores da economia globalizada para se manter a competitividade, incentivou o produtor rural buscar ferramentas para quantificar e qualidades a sua unidade de produção. Com a evolução da informática, surgimento de tecnologias de geoprocessamento, sistemas de posicionamento global e muitas outras tecnologias, estão proporcionando à agricultura uma nova forma de enxergar a propriedade, deixando de ser, apenas uma somente e, sim várias propriedades dentro da mesma, porém com características específicas. Esta mudança na forma de fazer agricultura está tornando o produtor rural, cada vez mais, em empresário rural, por controlar a sua linha de produção.

Esta mudança é necessária para que se entenda a propriedade como não homogênea e sim que se trate cada parte conforme as suas necessidades, fazendo com que o produtor tenha o conhecimento detalhado de cada parte da linha de produção ou cada metro quadrado da sua propriedade. Desta forma, podemos identificar os limitantes de produção e principalmente manejá-los de forma adequada, precisa e sem impactos ambientais.

Na agricultura convencional a adubação, assim, como os demais tratamentos culturais são feitos em grandes áreas que são consideradas homogêneas, sendo que, no caso da análise de solos são feitas várias coletas e posteriormente misturadas, ou seja, faz-se uma recomendação média.

O manejo localizado, conhecido como “agricultura de precisão” tem por objetivo um manejo solo-planta-atmosfera, baseado em princípios de gerenciamento agrícola de informações sobre variabilidade espacial e temporal dos fatores de produção e da própria produtividade (DURIGON, 2007).

Esta técnica denominada como agricultura de precisão visa aumentar a eficiência no manejo da lavoura, permitindo a identificação da variabilidade bem como o seu manejo específico. Baseia-se na utilização de máquinas e equipamentos especiais como o GPS (Global Positioning System). As principais vantagens da agricultura de precisão são: a uniformização da fertilidade da gleba após algumas safras, o uso racional e de forma mais bem distribuída dos insumos químicos utilizados na lavoura, além de ajudar na conservação e proteção do meio ambiente.

Sabe-se que tanto a deficiência como o excesso de nutrientes em uma lavoura são prejudiciais, como por exemplo: a deficiência de potássio (K) em uma lavoura de soja pode

causar a redução da produtividade, a baixa disponibilidade deste nutriente sem o aparecimento visual da deficiência causa a “fome oculta”. Assim como, o excesso de fósforo (P) pode induzir a deficiência de zinco desde que estes altos teores estejam associados com reduzida absorção e translocação de Zn, Fe e Cu.

Conforme ANTUNIASSI (1998), o mapeamento detalhado dos fatores de produção e aplicação localizada de insumos são os princípios básicos do sistema.

Segundo Campo (2000) considera que a agricultura de precisão é um conjunto de técnicas e procedimentos que permite conhecer, localizar geograficamente e delimitar áreas de diferente produtividade, através do emprego da informática, programas específicos, sensores, controladores de máquinas e sistema de posicionamento global (GPS).

O principal conceito é aplicar os insumos no local correto, no momento adequado, as quantidades de insumos necessários à produção agrícola, para áreas cada vez menores e mais homogêneas, tanto quanto a tecnologia e os custos envolvidos o permitam (DODERMANN & PING, 2004).

Portanto, o trabalho teve por objetivo identificar a variabilidade do solo e fazer as recomendações para a correção da acidez e dos nutrientes, assim como, avaliar a produtividade na cultura da soja em função da variabilidade do solo e da correção realizada.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A obtenção de altos rendimentos na lavoura de soja depende de vários fatores, alguns dos quais podem ser controlados, outros não. A interação destes vários fatores, que atuam no sistema produtivo como um todo, é que determinará o rendimento, a qualidade de grãos e o retorno econômico esperado. Entre os principais fatores destacam-se: a adequação e manejo do solo, a época de semeadura, manejo da adubação, controle precoce das plantas daninhas, manejo da irrigação e manejo de pragas de doenças (MENEZES,2004).

Na lavoura de soja a adubação destaca-se como sendo um dos principais componentes no custo de produção. Na safra 2011/2012, o custo médio com adubação no Rio Grande do Sul, representou 28,72% do custo total de R\$ 1.582,40. Desta forma, o impacto de uma adubação bem realizada está diretamente relacionado com a lucratividade e com o custo de produção.

A adubação baseia-se na análise de solos, esta geralmente representa grandes áreas, as quais o produtor acredita ser homogêneas. No entanto, Durigon (2007) propõe que existe grande variabilidade em diversos atributos, tais como tipo de solo, características físicas, produtividade e necessidade de nutrientes.

2.1 Variabilidade espacial de atributos do solo

A variabilidade do solo é consequência de complexas interações dos fatores e processos de sua formação. Além dos fatores e processos, práticas de manejo do solo e da cultura são causas adicionais de variabilidade. Áreas pedologicamente idênticas podem apresentar variabilidade distinta em atributos, quando submetidas às diferentes práticas de manejo. Da mesma forma, áreas pedologicamente diferentes, quando submetidas ao mesmo manejo, podem apresentar-se semelhantes em seus atributos. O manejo pode alterar atributos químicos, físicos, mineralógicos e biológicos, com impacto principalmente nas camadas superficiais do solo (CORÁ et al, 1997).

As lavouras, em geral, apresentam manchas com produtividades extremamente variadas (MOLIN, 2004). A solução utilizada pela maioria dos produtores é visar grandes áreas e entende-las como homogêneas, levando ao conceito da necessidade média para a aplicação de insumos (fertilizantes, defensivos, água e etc.). Isto faz com que, por exemplo, a mesma formulação e/ou quantidade do fertilizante seja utilizada para toda a área, atendendo apenas as

necessidades médias e não considerando, de fato, as necessidades específicas de cada parte da lavoura. O mesmo acontece para os demais insumos, causando como resultado uma lavoura com produtividade não uniforme (CAPELLI, 1999).

2.2 Agricultura de precisão (AP)

A Agricultura de Precisão (AP) apresenta-se com uma excelente ferramenta para auxiliar o produtor rural na definição das melhores estratégias a serem adotadas para aumentar a eficiência do gerenciamento agrícola.

Segundo Campo (2000), considera que a agricultura de precisão é um conjunto de técnicas e procedimentos que permite conhecer, localizar geograficamente e delimitar áreas de diferentes produtividades, através do emprego da informática, programas específicos, sensores, controladores de máquinas e sistemas de posicionamento global (GPS).

A AP permite identificar a variabilidade existente na área e a partir disto investigar fatores limitantes (físicos, químicos e biológicos) e propor alternativas de manejos diferenciadas de acordo com a necessidade de cada área. Com base nesta variabilidade podem-se prescrever interferências de manejo visando corrigir aqueles atributos que estão comprometendo o rendimento, permitindo, assim, a elevação do potencial produtivo (DELLAMEA et al., 2007).

A AP visa o gerenciamento mais detalhado do sistema de produção agrícola como um todo, não somente das aplicações de insumos ou de mapeamentos diversos, mas de todos os processos envolvidos na produção e até mesmo a semeadura mecanizada da cultura utilizando algum sistema de orientação via satélite (ANTUNIASSI et al, 2007).

2.3 Ciclo da agricultura de precisão (AP)

A AP é constituída de um ciclo (Figura 1). Este se baseia na amostragem intensiva e georreferenciada do solo, geração de mapas com a distribuição espacial dos atributos químicos analisados, interpretação e prescrição localizada de insumos, aplicação à taxa variável de insumos, geração de mapas de rastreabilidade, acompanhamento da lavoura durante o ciclo das culturas, geração de mapas de produtividade, investigação das relações de causa e efeito, análise econômica e replanejamento das atividades de manejo visando à otimização dos recursos (AMADO et al, 2007).



Figura 1 – Ciclo da Agricultura de Precisão. Fonte: <http://www.cronos.agr.br/precisao.php> (2013).

2.4 Benefícios da agricultura de precisão (AP)

Em termos econômicos, a utilização da agricultura de precisão possibilita a priorização de investimentos em áreas onde o potencial de produção seja mais efetivo, garantindo maior retorno econômico. Do ponto de vista ambiental, a racionalização e a redução do uso de insumos devem ser analisadas como um dos principais benefícios da agricultura de precisão (ANTUNIASSI et al., 2007).

Milani et al. (2006) relatam que o manejo localizado tendeu a apresentar produtividades mais homogêneas e superiores ao manejo uniforme. Tal aplicação, no entanto, requer acompanhamento e análise de mapas de produtividade, considerando um histórico de várias safras e de diferentes culturas para que sejam contempladas as variabilidades temporais e espaciais (BLACKMORE et al., 2003).

A agricultura de precisão está tornando cada vez mais o produtor rural em um empresário rural, por controlar cada vez mais a unidade de produção (TSCHIEDEL & FERREIRA, 2002).

2.5 Dificuldades da agricultura de precisão (AP)

Os mapas de produtividade são considerados como a alternativa mais completa para discriminar a variabilidade espacial das lavouras (MOLIN, 2002). No entanto, a geração de mapas de produtividade confiáveis exigem cuidados operacionais e de tratamento dos dados.

A coleta de dados de produtividade pela colhedora deve ser acompanhada por cuidados operacionais, uma vez que fatores como a largura efetiva de corte da plataforma, entrada e saída da lavoura, número de manobras e a limpeza do sensor de rendimento estão entre os mais importantes para a obtenção de dados confiáveis (AMADO et al., 2007).

A colhedora deve possuir um sensor para registro da umidade dos grãos. A importância do registro de umidade de grãos na qualidade dos mapas de produtividade foi anteriormente destacada por Pierce et al., (1997). Estes autores relatam que a cultura do milho, na mesma lavoura e no mesmo dia de colheita, apresentou variação de 10% a 15% no teor de umidade.

Segundo Molin (2004), a falta de definições de direção do mercado com relação ao nível tecnológico a se adotar e fragilidade em alguns parâmetros de recomendação, especialmente ligado à inconsistência da variabilidade espacial e temporal nas lavouras e baixas correlações entre possíveis causas e efeitos, têm levado muitos empreendimentos a serem revistos ou mesmo encerrados.

Ainda conforme o autor acima os monitores de produtividade, controladores de taxa variável, receptores de GPS, etc, em nosso meio têm um custo adicional por serem importados. Este tem sido um dos entraves da adoção destas tecnologias, por se tratar de valores, por vezes irrealistas, em função da baixa escala de produção e de comercialização no país, bem como de custos agregados associados à longas distâncias que, por sua vez, são associadas à instalação e assistência técnica desses equipamentos. O custo tem sido um dos grandes entraves e, em alguns dos segmentos, a falta de parâmetros para balizar o benefício, tem sido o outro limitador da adoção.

2.6 Equipamentos utilizados em agricultura de precisão (AP)

Uma vez que o conceito de agricultura de precisão contempla o gerenciamento localizado ou em zonas distintas na gleba, segundo seus atributos, há a necessidade de técnicas para se efetuar a análise espacial dos atributos e as definições geográficas dessas zonas. A análise espacial é possível com a evolução e a popularização de técnicas de

georreferenciamento, a exemplo dos Sistemas de Navegação Global por Satélites (SNGS), Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e de coleta automática de dados georreferenciados com os monitores de produtividade (MOLIN, 2001).

Segundo Tavares et al. (2002) os instrumentos utilizados na agricultura de precisão são:

- GPS (Sistema de Posicionamento Global): é um sistema de navegação baseado em satélites que permite a identificação da posição de um objeto em um determinado espaço através de coordenadas;
- Sensores: são os equipamentos necessários para a obtenção de dados em tempo real para gerar mapas de produtividade, aplicação de insumos e etc. Dentre os principais, pode-se destacar: Sensores de Fluxo de massa com placa de impacto e potenciômetro; Sensores com Fluxo de massa com placa de impacto com célula de carga; Sensores de Fluxo de massa volumétrico com luz infravermelha e Sensor de Fluxo de massa com fonte radiativa.
- Receptor: Sistema de antenas que recebe os sinais dos satélites do GPS e o sinal de correção, que servirão para localizar instantaneamente a colhedora.
- Processador: Recebe os três dados citados acima correlacionando-os e registrando-os em um cartão magnético (similar a um disquete). Os dados armazenados no cartão magnético são transferidos a um computador e tratados por um software específico, que elaborará então o mapa de produtividade. Neste mapa, cada local (site) será representado por um ponto que receberá uma coloração de acordo com a produtividade específica nele encontrada (por exemplo, pontos com maiores produtividades representados pela cor verde e com menores pela cor vermelha).

2.7 Mapas de produtividade

O mapa de produção é apenas uma etapa de todo o processo que envolve o manejo localizado e representa o efeito combinado de diversas fontes de variabilidade espacial e temporal. Uma parte desta variabilidade pode ser atribuída a fatores que são constantes ou variam lentamente, enquanto outros fatores são transitórios, mudando em sua importância e distribuição espacial e temporal de uma safra para outra (CAPELLI, 2003).

O método que permite a geração dos mapas detalhados de produtividade exige uma certa sofisticação para a obtenção dos dados essenciais. Inicialmente assume-se que o mapa de produtividade de um talhão é um conjunto de muitos pontos. Cada ponto representa uma pequena porção da lavoura (MOLIN, 2008).

Ao interpretar um mapa de produção com a finalidade de futuro gerenciamento localizado do campo, deve-se levar em conta principalmente as causas consistentes de variabilidade, já que para as que não persistem no tempo pode-se ter pouco ou nenhum controle. Aqui aparece uma das primeiras dificuldades que consiste na identificação e na separação de cada uma dessas classes de variabilidade (BORÉM et al., 2000).

Ainda neste sentido, a próxima dificuldade encontra-se na investigação das causas consistentes. Estas causas só podem ser compreendidas acompanhando-se e analisando-se os possíveis fatores que influenciam na variabilidade durante safras seguidas. Com esta metodologia esperam-se resultados a partir de uma terceira safra e solução do problema da uniformidade da produção possivelmente após a quinta colheita (DURIGON, 2007).

2.8 Técnicas geoestatísticas utilizadas em agricultura de precisão (AP)

As técnicas da geoestatística trabalham com problemas de espacialização de variáveis e representam uma promissora ferramenta para trabalhos em Sistema de Informação Geográfica em três aplicações básicas: (a) estimativas: para inferir atributos em pontos diferentes daqueles originais, isto é, onde estes não foram coletados; (b) previsões: para detectar tendências e locais de máximos e mínimos; (c) desenhos de experimentos: para otimizar a segmentação da área em unidades de espaço (VALERIANO & PRADO, 2001).

Segundo Bourennane et al., (2004), as técnicas geoestatísticas multivariadas, como a análise de Krigagem, são satisfatórias em fornecer medidas quantitativas de interações complexas entre propriedades de solo e podem ser particularmente úteis para a formulação de hipóteses da causa da variabilidade. Deste modo, um melhor manejo da variabilidade espacial e temporal associado com todos os aspectos do manejo localizado, torna possível melhorar o desempenho da cultura e a qualidade ambiental.

A krigagem é um método que permite estimar o valor desconhecido associado a um ponto, área ou volume, a partir de um conjunto de n dados disponíveis (MOLIN, 2007).

Ainda conforme o mesmo autor, a krigagem é o procedimento que permite calcular os ponderadores para uma dada configuração, com mínima variância de krigagem.

A krigagem é feita após a conclusão dos estudos geoestatísticos, os quais poderão, inclusive, indicar a não aplicação desse método se o comportamento da variável regionalizada for totalmente aleatório. Os estudos geoestatísticos levam a definição de um modelo de variograma, que servirá para inferir os valores de variância e covariância que serão utilizados pelos métodos geoestatísticos de interpolação (OLEA, 1999).

Outro método para analisar as correlações espaciais e determinar a escala de dependência espacial entre propriedades do solo é executar a análise de co-regionalização. Esta técnica geoestatística descreve e resume as relações espaciais das propriedades do solo selecionadas. Estudos prévios mostraram claramente que uma análise de co-regionalização seria mais esclarecedora que uma análise geoestatística univariada (BOCCHI et al., 2000).

A escala de variação do rendimento da cultura pode ser relacionada às propriedades de solo. Isso tem implicações importantes para o manejo localizado no sentido de que dados auxiliares como o rendimento, o qual é facilmente obtido por muitos produtores, poderia fornecer informação sobre a escala de variação das propriedades de solo (DURIGON, 2007).

2.9 Correlações entre atributos de solo e produtividade

O manejo localizado difere do manejo agrícola convencional por tentar identificar e mostrar a variabilidade espacial do solo e exigências da cultura em escala dentro do campo (DURIGON, 2007).

As propriedades do solo que limitam o rendimento podem ser manejáveis ou não manejáveis. As propriedades manejáveis podem ser alteradas para evitar que as mesmas limitem o rendimento. Os fatores não manejáveis praticamente não podem ser alterados e determinarão o potencial máximo de rendimento atingível em um local. Como as exigências da cultura variam com o rendimento, as necessidades específicas de manejo mudarão, dependendo dos potenciais de rendimentos, por exemplo, o requerimento de fertilizante pode ser reduzido em áreas de baixo rendimento (SHATAR & MCBRATNEY, 1999).

2.10 Aplicação de insumos à taxa variável

A aplicação de fertilizantes à taxa variável baseado na variabilidade nas propriedades do solo de um campo tem o potencial para reduzir sub e super aplicações de fertilizantes, e assim

melhorar a eficiência do uso de fertilizantes, o rendimento das culturas e o lucro líquido da propriedade (FIEZ et al., 1994).

Na solução dos impasses de fertilidade, a aplicação de fertilizantes à taxa variável é, hoje, uma necessidade, razão porque se desenvolvem tecnologias para aplicações em taxa variada atuando-se diretamente sobre as variações espaciais e temporais; para isto, são montados dispositivos em máquinas de aplicação que comandam as decisões de variação da aplicação, processando os dados dos sensores (TDP, velocidade, posição do campo etc.) e os dados inseridos pelo usuário aplicando-se, portanto, a dose necessária (DALLMEYER & SCHLOSSER, 1999).

O controle da aplicação dos insumos é feito por dispositivos responsáveis pela variação da vazão, montados em equipamentos especializados para aplicação, principalmente de produtos sólidos, ou mesmo em semeadoras adubadoras, e normalmente acionados por potência hidráulica (MOLIN et al., 2006).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização da área de estudo

O presente trabalho foi realizado no Município de Santiago, localizado no Centro Ocidental Rio grandense do Estado do Rio Grande do Sul (Figura 2), distante 450 km de Porto Alegre, em uma lavoura comercial de soja com coordenadas 29°16'48.83" de latitude Sul e 55°15'47.18" de longitude Oeste, pertencente à Agropecuária Salbego.



Figura 2 – Mapa do Estado do Rio Grande do Sul com a localização do Município de Santiago.

A área total utilizada foi de 138,16 hectares, em solo do tipo Latossolo Vermelho distrófico típico pertencente à unidade de mapeamento Cruz Alta, que se caracteriza por apresentar as seguintes características; solos profundos (mais de 200 mm) e bem drenados, apresentando desenvolvimento de horizonte B latossólico, solos porosos, friáveis e de coloração vermelha escura, possuindo teores de argila menores que 35%, sendo frágeis e quimicamente pobres. Material de origem é o arenitos da formação Tupancietã.

3.2 Mapeamento da área e georreferenciamento das amostras

Utilizou-se para o mapeamento da área o GPS de navegação da marca GARMIM, modelo eTrex Vista[®] HCx (Figura 3), com o qual gerou-se o contorno da área comercial (Figura 4). A malha de amostragem utilizada foi de 5 hectares, ou seja, realizou-se a amostragem de cada ponto a uma distância de 227,11 x 227,11 metros, sendo desta forma realizado 28 pontos amostras (Figura 5).

Para a geração da malha de amostragem utilizou-se o software “falkemap” que pertence à empresa FALKER, sediada em Porto Alegre – RS.



Figura 3 – GPS de navegação da marca GARMIM - eTrex Vista[®] HCx.

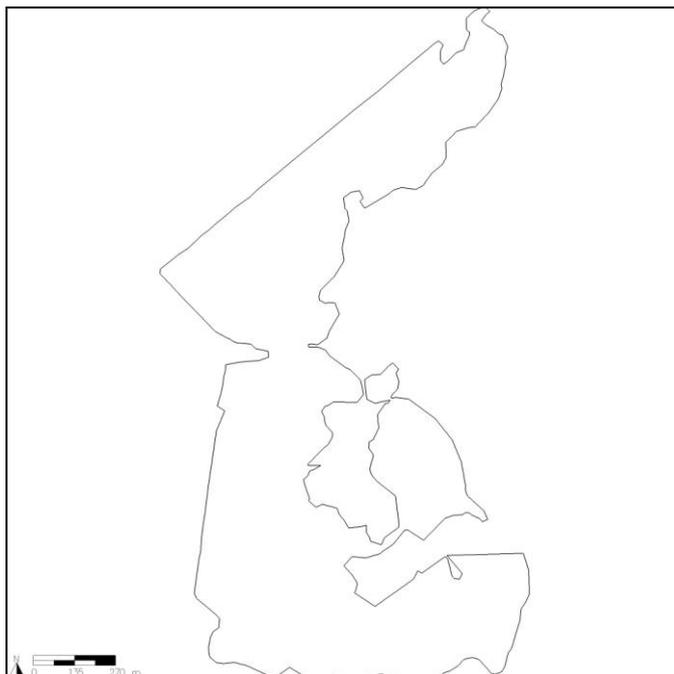


Figura 4 – Mapa de contorno da área de estudo.

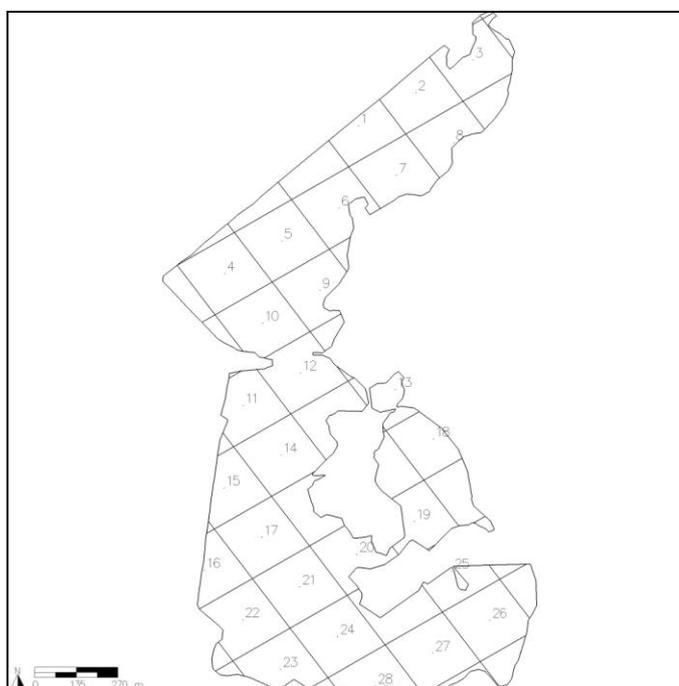


Figura 5 – Mapa da malha de amostragem com os pontos georreferenciados.

3.3 Determinação dos atributos químicos do solo

A amostragem do solo foi realizada através da coleta de 5 sub amostras por ponto da malha de amostragem, com um trado calador na profundidade de 0,0 – 0,2 metros, para compor a amostra enviada para o Laboratório de Análise de Solos da UFSM, integrante da

Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solos (ROLAS). A amostragem de solo foi realizada no dia seis de fevereiro de dois mil e onze (06/02/2011).

Após a coleta das sub amostras, as mesmas foram misturadas e acondicionadas em embalagens e, encaminhadas ao laboratório de análise de solos da UFSM.

A interpretação dos dados foi feita com base nas Recomendações Técnicas do V Congresso Brasileiro de Soja e no Manual de Adubação e Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO RS/SC, 2004).

Os resultados das análises foram utilizados para elaborar os modelos digitais (mapas) específicos para cada atributo químico do solo.

3.4 Software para geração dos mapas de acidez e fertilidade

Para gerar os mapas dos atributos da acidez na área e o mapa de aplicação da calagem, o software utilizado foi o *falkermmap*, programa desenvolvido pela empresa FALKER Agricultura de Precisão. Nele conseguimos transferir os dados dos laudos de análise de solo e assim gerar os mapas de: pH do Solo, Saturação de Bases, Saturação de Alumínio, Acidez Potencial. Estes serviram para realizar a recomendação da aplicação de calcário na área.

Os mapas de fertilidade também utilizaram os dados dos laudos de análise de solo, onde podemos gerar os mapas dos teores de: Fósforo, Potássio, Cálcio, Magnésio, Matéria Orgânica, Capacidade de Troca de Cátions (CTC), Argila, Enxofre, boro, cobre e de Zinco. Com base nestes mapas, podemos gerar os mapas de aplicação do fosfato diamônico (DAP) e do cloreto de potássio (KCl) para a cultura da soja, onde o software utilizado também foi o *falkermmap*.

A adubação de base utilizada foi a (05 – 20 – 10), aplicada no momento da semeadura da cultura.

3.5 Equipamento de aplicação à taxa variável (TV) utilizado

Para a aplicação do calcário e dos fertilizantes à taxa variável, o equipamento utilizado foi o de distribuição a lanço *Lancer Magnu 10.000 Plus*. O mapa de aplicação do calcário foi transferido do software *falkermmap* em arquivos no formato shape que puderam ser interpretados pela máquina. Os arquivos em formato shape, quando gerados, apresentam três tipos de arquivos (BDF, SHP e SHX).

A aplicação do calcário ocorreu no dia dez de abril de dois mil e onze (10/04/2011). Os fertilizantes foram aplicados em épocas distintas, Fosfato Diamônico (DAP) foi aplicado 30 dias antes da semeadura (25/09/2011) e o Cloreto de Potássio (KCl) foi aplicado 10 dias após a semeadura de soja (05/11/2011).



Figura 6 - Aplicação do calcário e fertilizantes à taxa variável.

3.6 Critérios na geração dos mapas de aplicação à taxa variável

Os solos do Rio Grande do Sul em seu estado natural são predominantemente ácidos, desta forma, apresentam restrições ao desenvolvimento da maioria das plantas cultivadas. Assim para que, possamos determinar adequadamente a aplicação ou não de calcário devemos adotar alguns critérios que nos auxiliarão na tomada de decisão. Segundo a Comissão de Química e Fertilidade do Solo RS/SC – “os principais critérios de recomendação de calagem são o pH do solo de referência da cultura e o percentual de saturação da $CTC_{pH\ 7,0}$ por cátions trocáveis de reação básica (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+) ou de saturação da $CTC_{efetiva}$ por Al^{3+} ”.

Os critérios que utilizados para gerar os mapas de identificação da acidez do solo da área, além dos mencionados anteriormente, foram: pH do Solo, Saturação por Bases, Saturação por Alumínio e Acidez Potencial do Solo.

O pH de referência para a cultura da soja é 6,0 (tabela 1), nestas condições favorecem o desenvolvimento da simbiose rizóbio-planta e a fixação de nitrogênio do ar.

Tabela 1- Classificação de espécies em relação ao pH do solo

pH de referência ⁽¹⁾	Culturas
pH 6,5	Alfafa, aspargo, piretro.
pH 6,0	Abacateiro, abóbora, alcachofra, alface, alho, almeirão ameixeira, amendoim, arroz de sequeiro, aveia, bananeira, batata-doce, beterraba, brócolo, cana-de-açúcar, camomila, canola, caquiizeiro, cebola, cenoura, cevada, chicória, citros, consorciação de gramíneas e leguminosas de estação fria, couve-flor, crisântemo de corte, ervilha, estévia, feijão, figueira, fumo, girassol, hortelã, leguminosas forrageiras de estação fria, leguminosas forrageiras de estação quente, consorciação de gramíneas e leguminosas de estação quente, linho, macieira, maracujazeiro, melancia, melão, milho, moranga, morangueiro, nectarineira, noqueira-pecã, painço, pepino, pereira, pessegueiro, pimentão, quivizeiro, rabanete, repolho, roseira de corte, rúcula, soja, sorgo, tomate, tremoço, trigo, triticale, urucum, vetiver, videira.
pH 5,5	Abacaxizeiro, acácia negra, alfavaca, amoreira-preta, arroz irrigado no sistema de semeadura em solo seco, batata, bracatinga, calêndula, camomila, capim elefante, cardamomo, carqueja, coentro, curcuma, erva-doce, eucalipto, funcho, gramíneas forrageiras de estação fria, gramíneas forrageiras de estação quente, gengibre, manjerição, pinus, salsa.
_(2)	Capim-limão, citronela-de-Java, palma-rosa e chá
Sem correção da acidez ⁽³⁾	Arroz irrigado no sistema pré-germinado ou com transplante de mudas, erva-mate, mandioca, mirtilo, pastagem natural, araucária.

⁽¹⁾ Em geral, no sistema plantio direto, a maioria das culturas de grãos desenvolve-se adequadamente em solos com pH 5,5, desde que a saturação da CTC por bases seja maior do que 65%.

⁽²⁾ A calagem é indicada quando a saturação da CTC por bases for menor do que 50%.

⁽³⁾ Aplicar 1 t/ha de calcário quando os teores de cálcio ou de magnésio forem inferiores aos da classe "Médio" (Tabela 5.6), exceto para o mirtilo para o qual não se recomenda calagem.

Fonte: Manual de adubação e de calagem (Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul).

Os cálculos para a recomendação de calagem basearam-se nos três métodos de determinação das quantidades de calcário a ser aplicado em cada gride de amostragem. O primeiro método de determinação da quantidade de calcário a ser aplicado na área partiu do índice SMP (tabela 2), encontrados nos laudos de análises de cada amostra de solo com o pH desejado (6,0).

Tabela 2 – Quantidades de calcário necessários para elevar o pH em água no solo a 6,0, estimadas pelo índice SMP

Índice SMP	pH desejado		
	5,5	6,0	6,5
	----- t/ha ⁽²⁾ -----		
≤ 4,4	15,0	21,0	29,0
4,5	12,5	17,3	24,0
4,6	10,9	15,1	20,0
4,7	9,6	13,3	17,5
4,8	8,5	11,9	15,7
4,9	7,7	10,7	14,2
5,0	6,6	9,9	13,3
5,1	6,0	9,1	12,3
5,2	5,3	8,3	11,3
5,3	4,8	7,5	10,4
5,4	4,2	6,8	9,5
5,5	3,7	6,1	8,6
5,6	3,2	5,4	7,8
5,7	2,8	4,8	7,0
5,8	2,3	4,2	6,3
5,9	2,0	3,7	5,6
6,0	1,6	3,2	4,9
6,1	1,3	2,7	4,3
6,2	1,0	2,2	3,7
6,3	0,8	1,8	3,1
6,4	0,6	1,4	2,6
6,5	0,4	1,1	2,1
6,6	0,2	0,8	1,6
6,7	0	0,5	1,2
6,8	0	0,3	0,8
6,9	0	0,2	0,5
7,0	0	0	0,2
7,1	0	0	0

⁽¹⁾ Análise conjunta baseada nos trabalhos de Murdock et al. (1969); Kaminski (1974); Scherer (1976); Ernani & Almeida (1986); Anjos et al. (1987) e Ciprandi et al. (1994).

⁽²⁾ Calcário com PRNT 100%.

Fonte: Manual de adubação e de calagem (Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul).

Em seguida analisou-se que as amostras apresentavam solos arenosos e, portanto, solos pouco tamponados, quando o índice SMP pode subestimar a necessidade de calcário. Nesses

casos, esta pode ser calculada pelos teores de matéria orgânica e de alumínio trocável do solo, pela seguinte equação para atingir o pH de referência 6,0:

$$\text{pH } 6,0: \text{NC} = - 0,516 + 0,805.(MO) + 2,435.(Al) \quad \text{Equação 01}$$

NC refere-se a necessidade de calcário em t/ha (com PRNT 100%); MO é o teor de matéria orgânica (%); e Al é o teor de alumínio trocável no solo (cmol/dm³).

Por fim, o terceiro critério que utilizado foi o critério de saturação por bases:

$$\text{NC (t/ha)} = \frac{\text{CTC} \cdot (\text{V}_2 - \text{V}_1)}{100} \quad \text{Equação 02}$$

em que: NC é a necessidade de calcário, em t/ha (com PRNT 100%); V₂ é a porcentagem de saturação por bases desejada; e, V₁ é a porcentagem da saturação por bases do solo, fornecida no laudo de análise. A CTC é a capacidade de troca de cátions do solo. Nos solos do Rio Grande do Sul, as porcentagens de saturação da CTC por bases de 65%, 80% e 85% correspondem aos valores de pH em água de 5,5, 6,0 e 6,5 respectivamente.

3.7 Lei do mínimo

Segundo a *lei do mínimo* (Figura 14), o desenvolvimento das plantas é limitado pelo nutriente que se encontra em menor quantidade em relação às suas necessidades, na presença de quantidades adequadas dos outros nutrientes e dos demais fatores de produção. Por exemplo, se o desenvolvimento da planta está sendo prejudicado pela deficiência de fósforo, a adição de qualquer outro nutriente não terá o mesmo efeito positivo do que a aplicação de todos os nutrientes de acordo com a necessidade da cultura.

Segundo a mesma, ela pode ser generalizada para outros fatores que influenciam o crescimento. Dessa forma, pode-se afirmar que o desenvolvimento das plantas é limitado pelo fator de crescimento que estiver em mínimo, seja ele disponibilidade de nutrientes, condição climática, condições de solo, aspectos fitossanitários ou outro qualquer. O máximo de rendimento de uma espécie ou variedade depende da interação entre seu potencial genético de produtividade e os fatores ambientais atuantes.

Na área em estudo a intenção do produtor foi corrigir os nutrientes que estavam em deficiência, equilibrar a disponibilidade de todos os nutrientes, para que alcançar uma produtividade mínima de 3.600 Kg/ha.

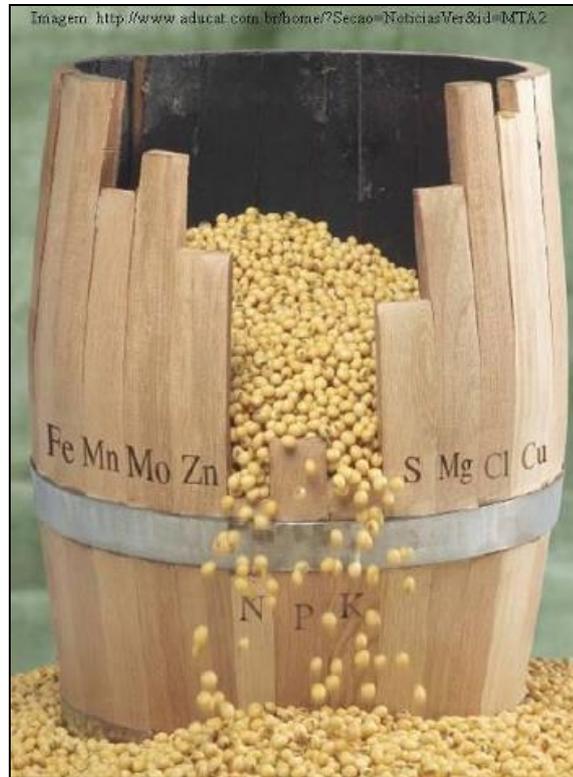


Figura 14 - Representação Visual da *Lei do Mínimo* de Liebig.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Geração dos mapas de acidez e aplicação do calcário

Segundo o manual de adubação e de calagem (ROLAS, 2004), em sistemas de rotação de culturas e, particularmente no sistema de plantio direto, o critério da saturação por bases é bastante utilizado. As quantidades de calcário a adicionar, estimadas pelo índice SMP e calculadas pela saturação da CTC por bases podem ser, portanto, diferentes. Se a diferença entre as quantidades obtidas pelos dois procedimentos for grande, pode-se optar pela média das quantidades. O valor a ser recomendado deve ser de responsabilidade da assistência técnica.

Desta forma, como critério para a recomendação da calagem da área utilizamos os três métodos apresentados no Manual de Adubação e Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina para gerarmos os mapas de aplicação de calcário e identificação da acidez.

A seguir, nas figuras 7, 8, 9 a 10, apresentamos os mapas de identificação da acidez e aplicação de calcário na área.

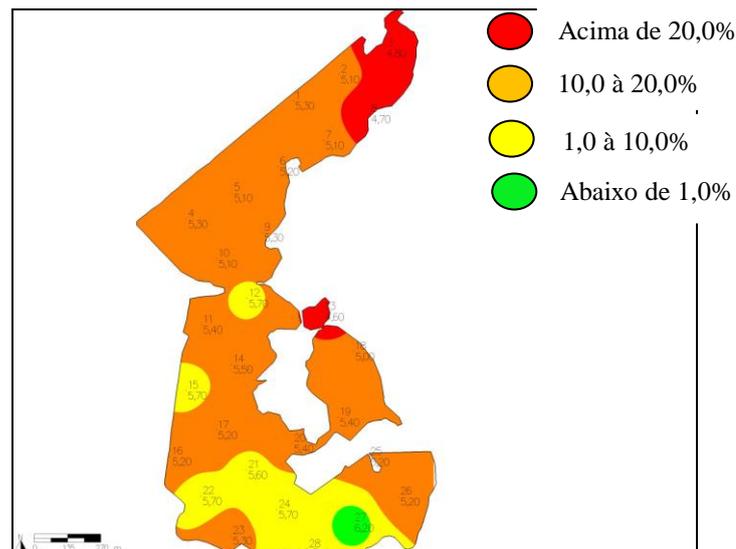


Figura 7 - Mapa de pH do Solo em 2011 na área de estudo.

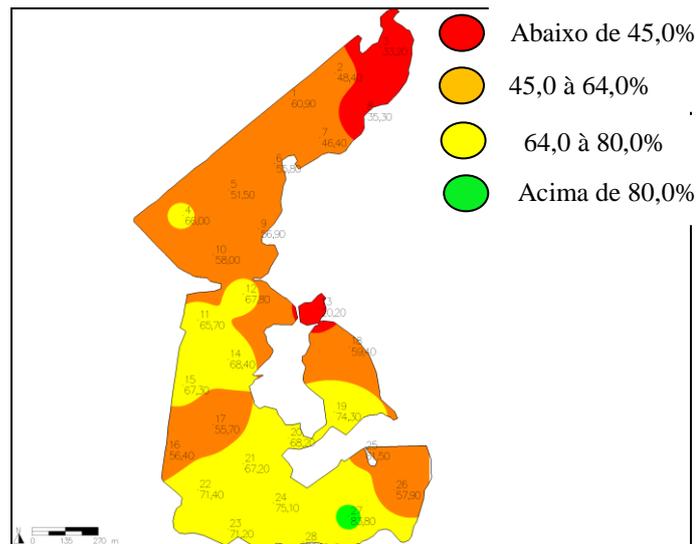


Figura 8 - Mapa de Saturação por Bases em 2011, na área de estudo.

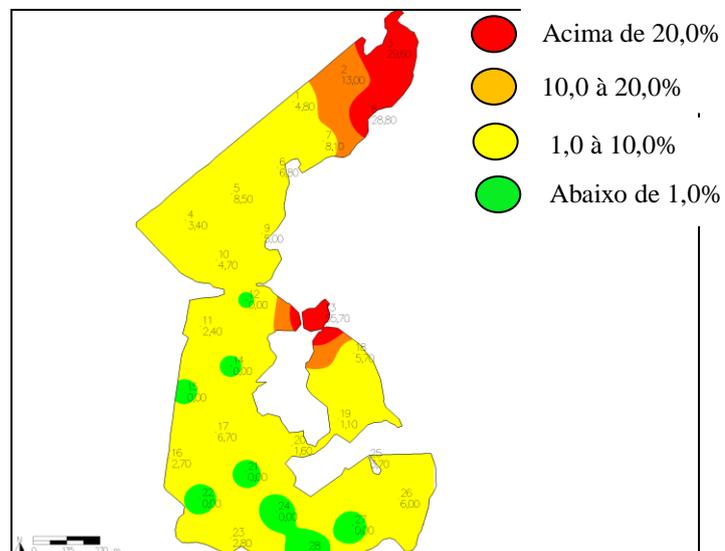


Figura 9 - Mapa de Saturação por Alumínio em 2011, na área de estudo.

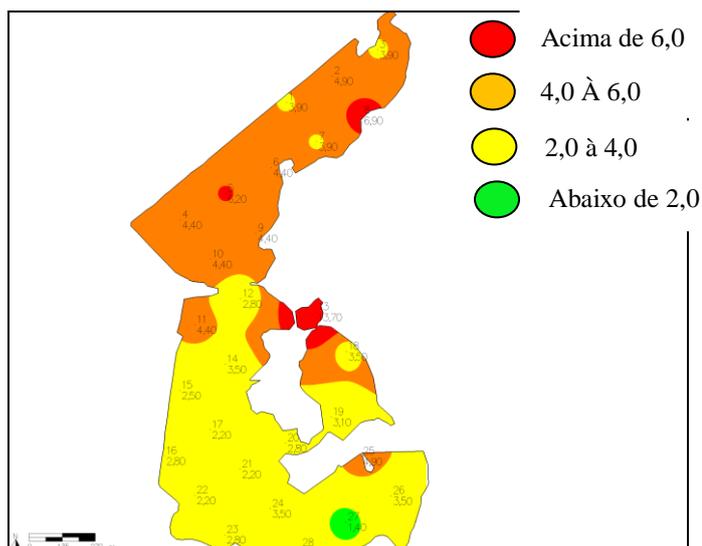


Figura 10 - Mapa de Acidez Potencial em 2011, na área de estudo.

A partir da geração dos mapas podemos localizar as áreas com maior acidez, onde notamos uma variação da acidez de 4,60 até 6,20 (Figura 7). Com esta variabilidade da área pode-se notar a importância de fazer a correção da acidez do solo.

A saturação de bases é um importante fator a ser analisado, pois determina a fertilidade natural do solo e quando temos uma saturação por bases baixa, a capacidade de adsorção dos nutrientes é baixa, isso diminuir a potencial de disponibilidade de nutrientes para a cultura. A variabilidade da área apresentou índices entre 20,20 a 83,80% (Figura 8).

Outro parâmetro de importância a ser analisado é a saturação de alumínio, sabemos que altos teores de alumínio são prejudiciais ao desenvolvimento do sistema radicular, além de, provocar desequilíbrios nutricionais da lavoura de soja, por absorver altas quantidades deste elemento. Na área em questão foi observado uma variabilidade de 0% a 55,70% (Figura 9).

A acidez potencial é a resistência de um solo em modificar seu pH quando são adicionados compostos básicos. O pH somente começa a aumentar quando o composto responsável pela acidez potencial não consegue liberar íons H^+ para a solução na mesma proporção que estes são neutralizados. Assim, quanto maior este valor, maior será a acidez potencial. Na figura 10 é apresentado o mapa de acidez potencial da área em estudo, onde observa-se uma variação de 1,4 à 13,7.

Por fim, após a análise e interpretação dos mapas, pode-se fazer os cálculos de recomendação de corretivos da acidez do solo e a geração do mapa de aplicação de calcário para a área em estudo na cultura da soja (Figura 11). A aplicação do corretivo, na forma de calcário dolomítico com PRNT 74,8%, foi realizada à taxa variável com o equipamento de distribuição a lança *Lancer Magnu 10.000 Plus* (Figura 12). O arquivo de aplicação do

calcário foi transferido do software falkermmap em arquivos no formato shape, quando gerado este tipo de arquivo digital ele representa uma feição ou elemento gráfico, seja ela em formato de ponto, linha ou polígono e que contém uma referência espacial (coordenadas geográficas) de qualquer que seja o elemento mapeado. É na verdade um conjunto de vários arquivos. Três arquivos individuais são necessários para armazenar os dados do núcleo que compreende um shapefile. São eles: (BDF, SHP e SHX). A partir destes arquivos os GPS de navegação do implemento em conjunto com software de taxa variável poderá reconhecer a área de aplicação e assim visualizar na tela do monitor. (Figura 13)

Segundo o Manual de adubação e de Calagem (2004), a calagem é considerada efetiva para um período aproximado de cinco a sete anos, dependendo da quantidade e do tipo de corretivo utilizado, do manejo do solo, da cultura e etc. a elevação do pH do solo depende da quantidade de corretivo aplicada, da mistura homogênea do corretivo com o solo, do teor de umidade do solo e do tempo de contato do corretivo com o solo. Após, a aplicação o pH do solo atinge uma valor máximo, entre 3 a 12 meses. E de 4 a 6 anos o pH começa a diminuir, devido a lixiviação natural e, à absorção pelas plantas dos cátions básicos (Ca, Mg e K) e as reações acidificantes que ocorrem no solo.

A época de aplicação ideal para o corretivo, deve anteceder no mínimo 6 meses antes do cultivo das leguminosas. Deste modo, a aplicação do calcário ocorreu no dia dez de abril de dois mil e onze (10/04/2011). E as áreas onde apresentaram maior necessidade de calcário realizou-se a incorporação, para que aumentasse a área de contato com os coloides do solo, acelerando a reação e neutralização dos ácidos do solo.

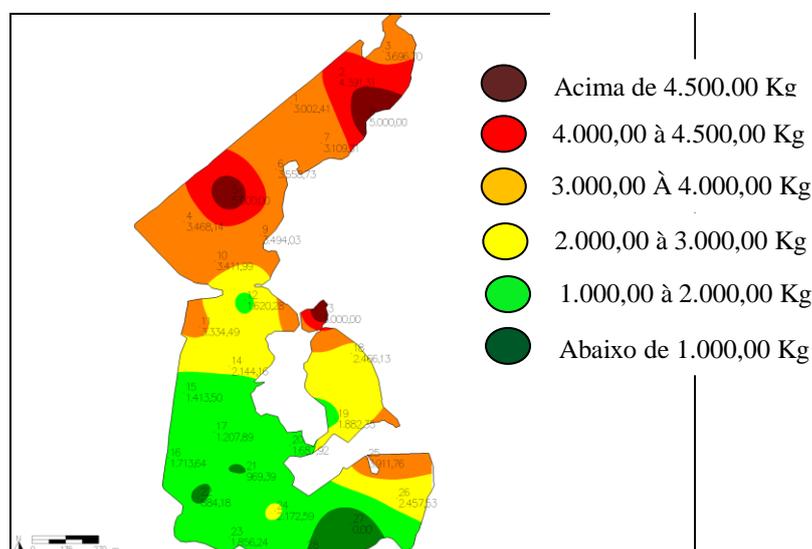


Figura 11 - Mapa da necessidade de Aplicação do Calcário no ano de 2011 para a área em estudo.



Figura 12 - Aplicação de calcário a taxa variável no momento da variação de doses.

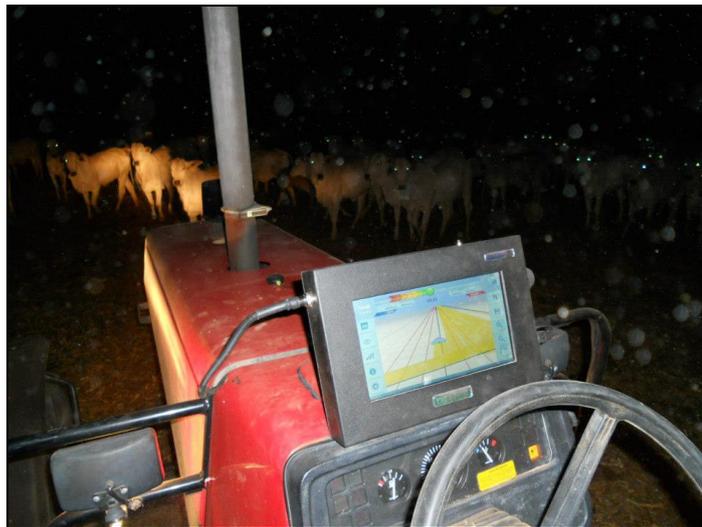


Figura 13 - Monitor do GPS de navegação agrícola, caracterizando a área aplicada de calcário.

4.2 Geração dos mapas de fertilidade

A caracterização da fertilidade do solo de uma área comercial é de suma importância, pois, conseguimos estimar e manejar de forma adequada a adubação para alcançar produtividades maiores e uniformes. A recomendação de adubação será realizada num

período mínimo de dois anos, podendo envolver duas culturas de verão e duas culturas de inverno. Neste estudo serão considerados apenas os dados relativos ao ciclo da cultura da soja.

A geração de mapas de fertilidade é uma importante ferramenta na quantificação de potencial de uma área e, na determinação de ações para corrigir deficiências nutricionais, propiciando a cultura expressar todo o seu potencial produtivo.

Os mapas apresentam os teores de fertilidade do solo, em comparação aos teores adequados para cada elemento, onde os que apresentam teores ideais ou superiores, a coloração utilizada nos locais nos mapas é verde, e onde apresentou deficiência dos elementos, a coloração utilizada foi o vermelho.

A partir destes parâmetros e com o auxílio do Manual de Adubação e Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, realizamos a geração dos mapas de fertilidade da área e de adubação para a cultura da soja.

4.2.1 Análise da disponibilidade dos macronutrientes

O primeiro ponto a ser analisado é o teor de argila no solo, pois através dele podemos classificar os solos em classes texturais, afim de, determinarmos o teor de fósforo adequado para cada gleba ou gride de amostragem (Figura 15).

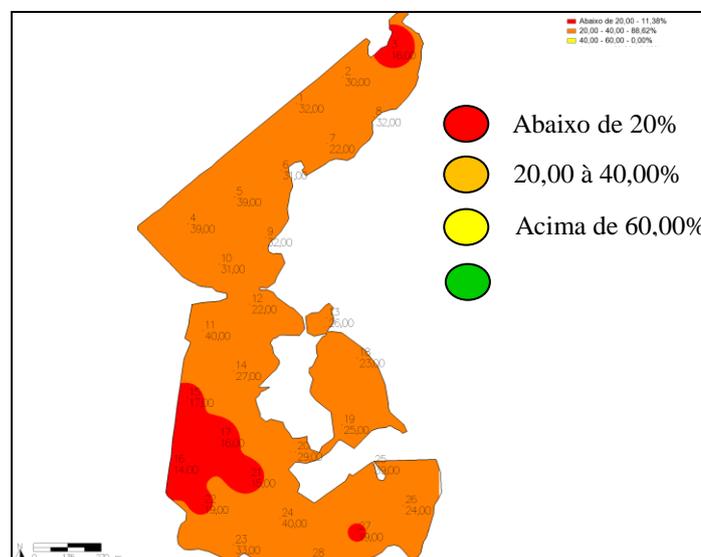


Figura 15 - Mapa com os teores de argila no solo para a área em estudo.

O mapa nos mostrou que a área apresenta uma classe textural 3 e 4, onde os teores ideais de fósforo ficam em torno de 12 e 21 mg/dm³. A partir desta identificação puderam-se determinar se o teor de fósforo na área está: baixo, médio, alto ou muito alto.

Áreas que apresentam baixa disponibilidade precisam de um manejo de correção de fertilidade, além de, disponibilizar ao solo a aplicação de manutenção e reposição.

Os teores de fósforo no solo encontravam-se nas classes muito baixo, baixo, médio, e alto, necessitando uma aplicação de correção para que se elevassem os teores do nutrientes a níveis adequados (Figura 16). Para a correção da disponibilidade de fósforo foi aplicado o fertilizante fosfato diamônico (DAP) em taxa variável. As quantidades aplicadas variaram de 0 kg/ha nas áreas cujos teores eram alto até 222 kg/ha para as áreas onde os teores eram muito baixos. Além deste fertilizante, foi aplicado na semeadura 200 kg/ha da fórmula 05 20 10.

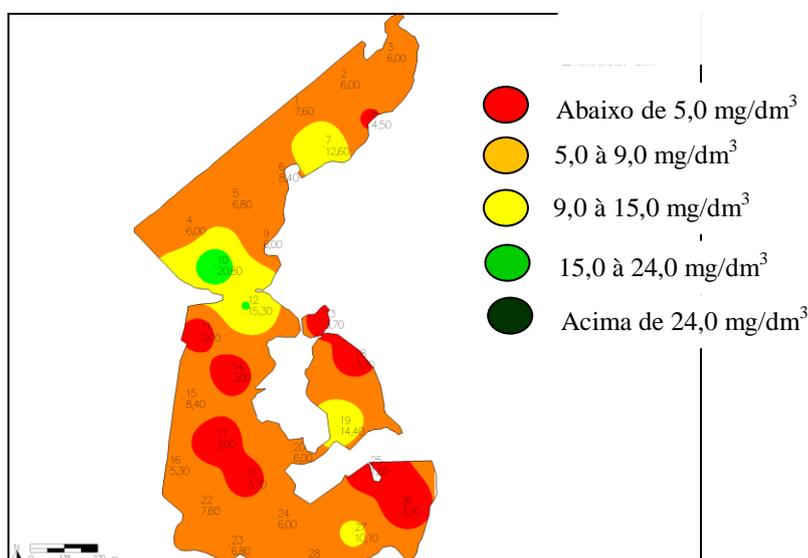


Figura 16 - Mapa dos teores de fósforo disponível no solo no ano de 2011 para a área em estudo.

A disponibilidade do fósforo para as plantas depende dos fatores que afetam o movimento do P da solução do solo até a superfície das raízes, da capacidade do solo manter fósforo na solução e de outros fatores limitantes ao crescimento das plantas. Destes os mais importantes são: quantidade de fósforo adicionado, composição do solo, pH do solo e tempo de contato do nutriente com os colóides do solo.

As plantas absorvem o fósforo da solução do solo e tem como principais funções, fazer parte da constituição destes compostos orgânicos, sendo essencial para a divisão celular, a reprodução e o metabolismo vegetal (fotossíntese, respiração e síntese de substâncias orgânicas), (SBCS/NRS 2004).

Em relação ao potássio, os solos com maior CTC retêm mais este nutriente na fase sólida, diminuindo as perdas por lixiviação. Apresentam, também, maior capacidade de manter alto, os teores de K^+ na solução e, conseqüentemente, o gradiente de concentração. Assim a caracterização da capacidade de troca de cátions (CTC) é importante para determinarmos o teor ideal de potássio (K^+) na área. Na Figura 17 podemos observar que a CTC do solo encontra-se na classe médio, no solo da área de estudo. Verifica-se, também, que para este parâmetro não houve variabilidade na área, com exceção de uma pequena mancha destacada da área principal.

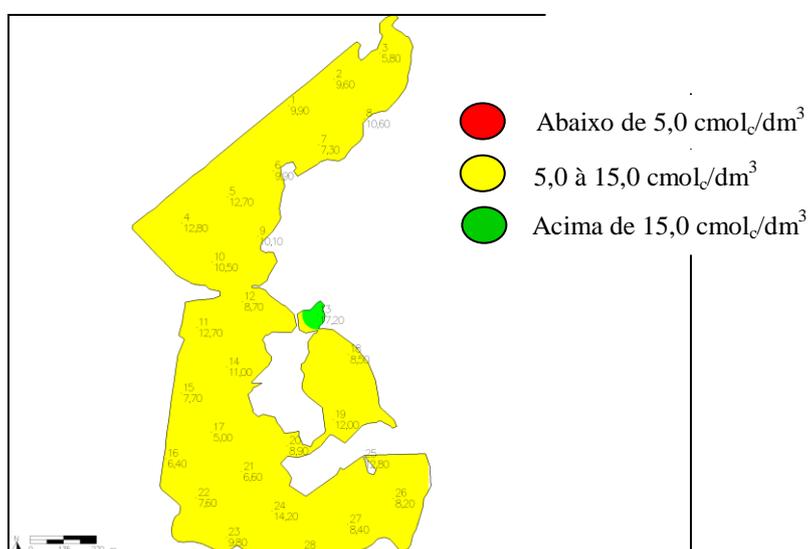


Figura 17 – Mapa da Capacidade de Troca de Cátions do solo (CTC).

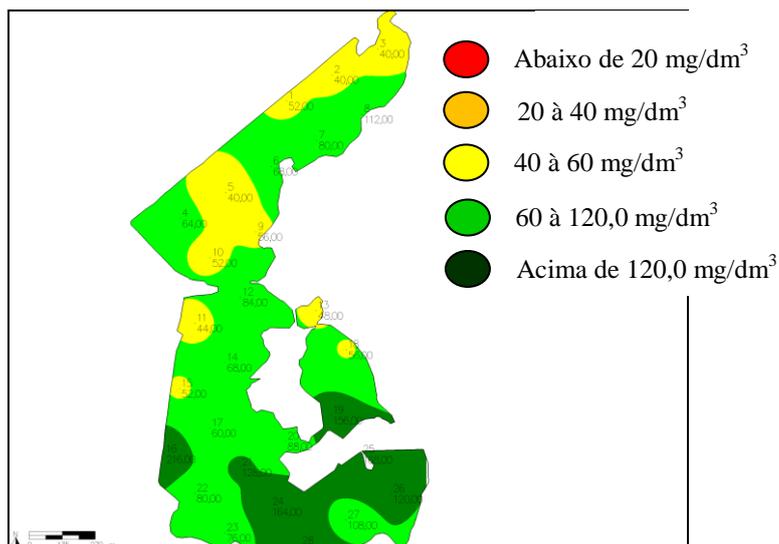


Figura 18 – Mapa dos teores disponíveis de potássio no solo no ano de 2011 para a área em estudo.

A partir da relação do teor de potássio no solo (Figura 18) com a CTC (Figura 17), pode-se identificar que a área apresentava variação no teor do nutriente disponível desde médio a muito alto. A alta variabilidade nos teores de potássio mostra que a área apresentou, ao longo dos anos, um manejo do solo que, em função, de adubações, erosão, colheitas, etc ocasionaram um desequilíbrio na fertilidade do solo. A aplicação do potássio em taxa variável, para equilibrar os níveis do nutriente na área, ocorreu dez dias após a semeadura da cultura (05/11/2011).

Na região de Santiago existem solos com baixos teores de matéria orgânica associados as características, ou mesmo, ao manejo do solo. A área em estudo apresentou valores variando de 0,90% a 4,60%. Em 75,83% da área os teores estavam abaixo de 2,5%, valor considerado baixo, e 24,17% da área apresentava valores de matéria orgânica entre 2,5 e 5,0% (Figura 19).

A determinação da matéria orgânica é importante para analisar se o manejo e a adubação que a propriedade está realizando esta adequada ao desenvolvimento da cultura. Sabemos que, para a cultura da soja, não é indicada a adubação nitrogenada, pois pode diminuir a nodulação da cultura. O produtor rural utilizou de adubação de base à formulação (05 – 20 – 10), na quantidade 200 kg/ha fornecendo assim, 10 kg/ha de nitrogênio na base.

Esta tomada de decisão foi importante devido aos baixos índices de MO e a busca por um maior arranque da cultura e produtividade elevada. Esta tomada de decisão, por parte do agricultor, pode ser questionada, conforme inúmeros trabalhos de pesquisa tem demonstrado,

em função da inibição da nodulação desde os primeiros estágios de desenvolvimento da cultura,

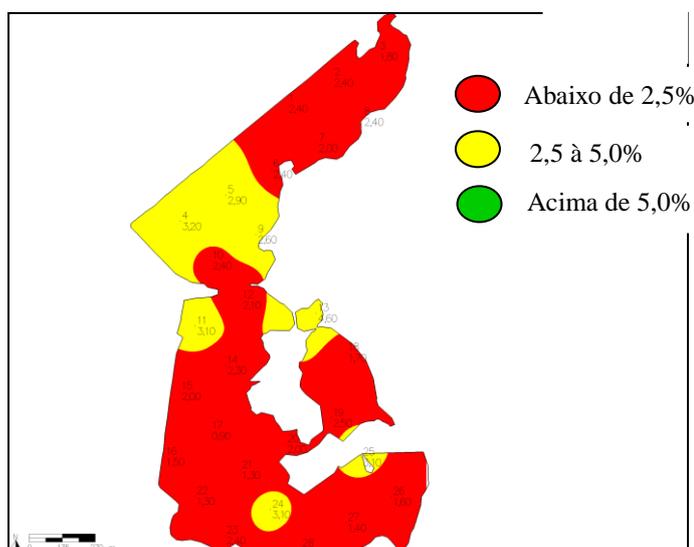


Figura 19 - Mapa dos teores de Matéria Orgânica (MO) no solo da área e estudo em 2011.

A calagem é uma importante fonte de nutrientes, além de, corrigir a acidez do solo, fornece cálcio e magnésio em sua formulação. Na aplicação que ocorreu em abril, houve o incremento destes nutrientes, onde apresentava 91,35% da área com teores altos de magnésio acima de $1\text{cmol}/\text{dm}^3$. Em 8,26% da área apresentava teores médios de magnésio com variação entre 05 e $1\text{cmol}/\text{dm}^3$ e apenas 0,39% da área apresentou teores abaixo do nível adequado para o solo, com $0,43\text{ cmol}/\text{dm}^3$.

Os teores de cálcio também mostraram variabilidade nos teores. 54,80% da área apresentou teores altos do nutriente, acima de $4,0\text{ cmol}/\text{dm}^3$. Os teores médios, entre 2,1 e $4,0\text{ cmol}/\text{dm}^3$, ocuparam 43,35% da área e apenas 1,85% da área apresentou teores abaixo do nível adequado de $2,0\text{ cmol}/\text{dm}^3$, em torno de $1,40\text{ cmol}/\text{dm}^3$. As Figuras 20 e 21 apresentam estes dados e a variabilidade destes nutrientes encontrada na área

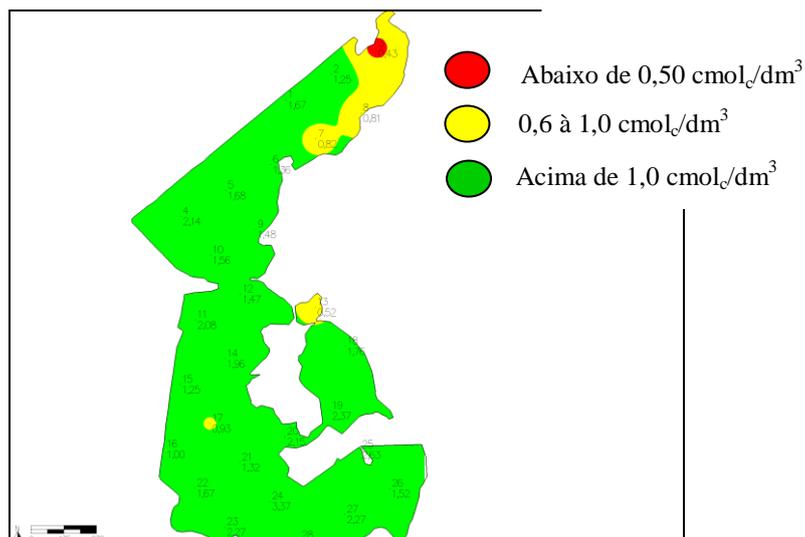


Figura 20 - Mapa dos teores disponíveis de magnésio no solo da área de estudo no ano de 2011.

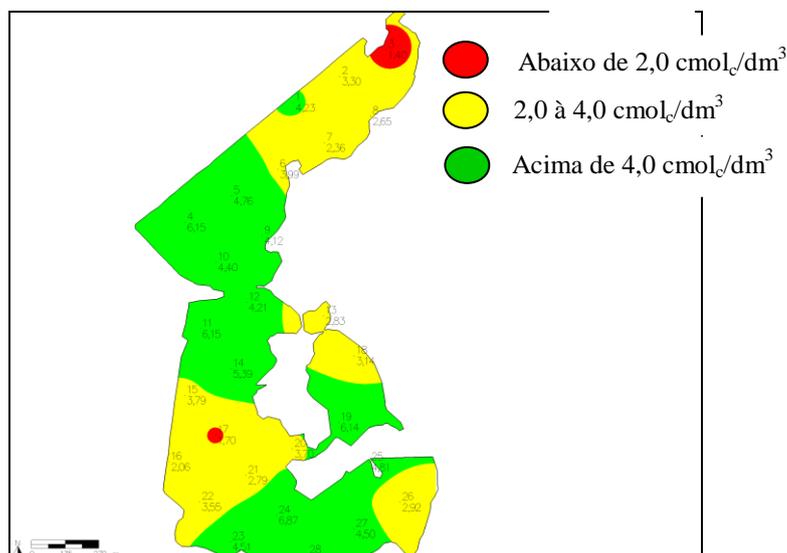


Figura 21 - Mapa dos teores disponíveis de cálcio no solo na área de estudo no ano de 2011.

O enxofre é um nutriente essencial na cultura da soja, pois este elemento é constituinte dos aminoácidos cistina, cisteína e metionina. Portanto, apresentando deficiência deste nutriente algumas sínteses de proteínas que requerem estes aminoácidos serão prejudicadas. Embora, não seja constituinte da clorofila, sua deficiência reduz a formação desta. Por isso, que, as plantas com deficiência de enxofre se apresentam cloróticas e com pouco desenvolvimento. Este sintoma é semelhante ao do nitrogênio, porém, acontece nas folhas

novas uma vez que este nutriente é pouco móvel na planta. Para leguminosas o teor deste nutriente deve ser maior que $10\text{mg}/\text{dm}^3$. O mapa gerado levou em consideração para os teores baixo, médio e alto, os teores no solo menor que $5\text{ mg}/\text{dm}^3$, 5 à $10\text{ mg}/\text{dm}^3$ e maior que $10\text{mg}/\text{dm}^3$ (Figura 22). Segundo o manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, quando o teor de enxofre for inferior à $10\text{ mg}/\text{dm}^3$, deve-se fazer uma aplicação de $20\text{ kg}/\text{ha}$ do nutriente.

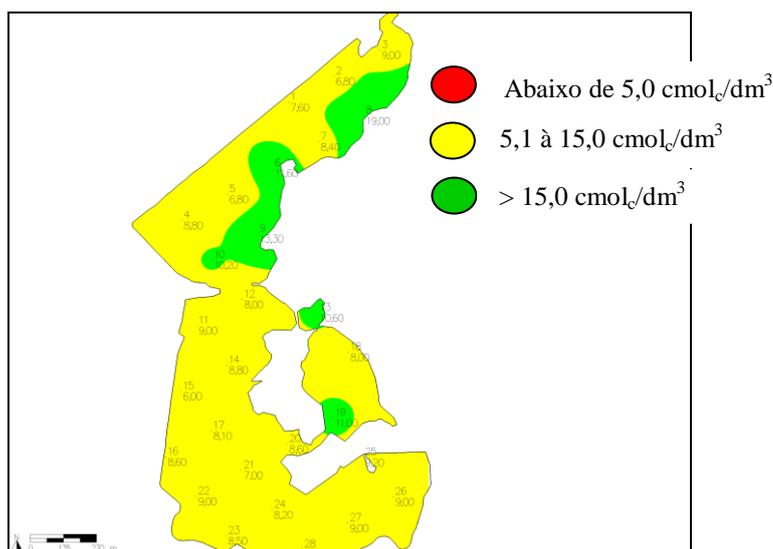


Figura 22 – Mapa dos teores disponíveis de enxofre no solo da área de estudo em 2011.

4.2.2 Análise da disponibilidade dos micronutrientes

Na determinação da fertilidade do solo utilizando a agricultura de precisão e geração dos mapas, é importante fazer a análise completa do solo, assim podemos caracterizar o seu potencial produtivo, afim de, alcançar altas produtividades. Na análise dos micronutrientes, Boro, Cobre e Zinco e com a geração dos mapas podemos identificar que os teores apresentaram-se em níveis adequados de médio a alto, conforme os mapas a seguir. (Figuras 23, 24 e 25) Com base nesta análise não necessita aplicação foliar de micronutrientes, diminuindo assim, custos e otimização da lavoura.

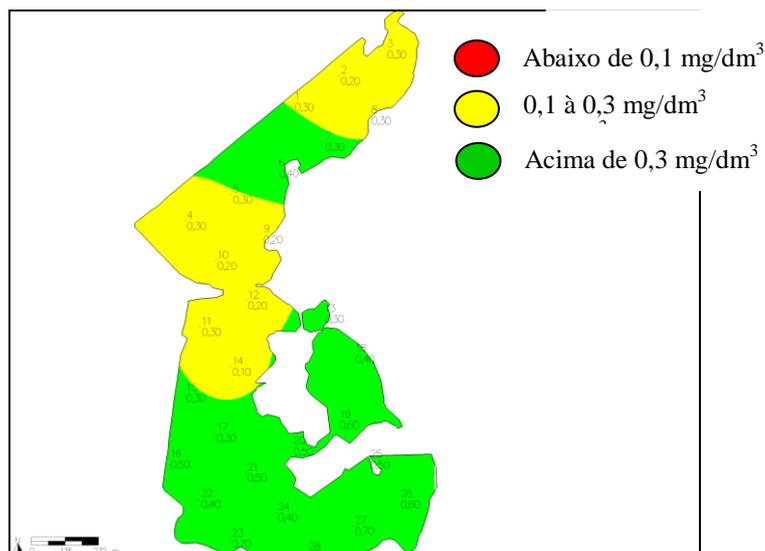


Figura 23 – Mapa dos teores disponíveis de Boro no solo da área de estudo em 2011.

A deficiência de Boro aparece inicialmente causando um anormal e lento desenvolvimento dos pontos de crescimento apical. Na área não aconteceu o aparecimento dos sintomas devido que os teores de Boro no solo, apresentam-se em níveis de médio à alto, teores de 0,10 a 0,30 mg/dm³ e acima de 0,30 mg/dm³, respectivamente.

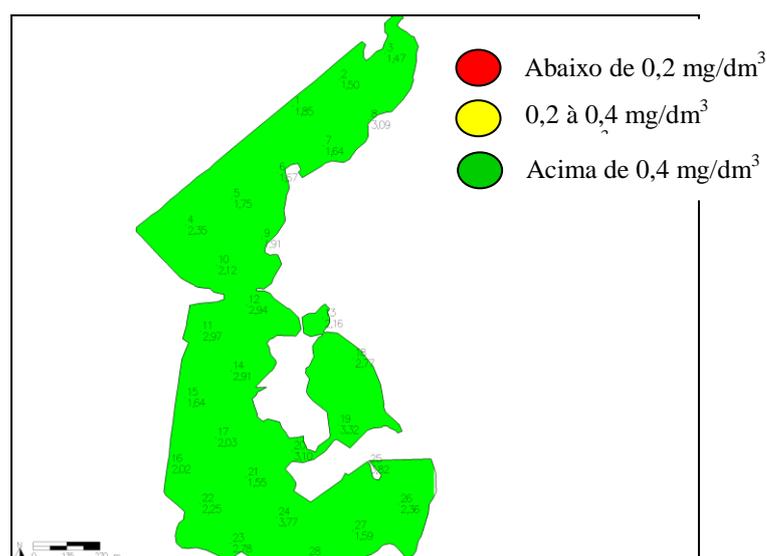


Figura 24 – Mapa dos teores disponíveis de Cobre no solo na área de estudo em 2011.

Os teores de Cobre no solo apresentaram níveis altos, podendo tornar-se tóxico e limitar o crescimento. Existem indícios de que o cobre possa deslocar outros cátions, particularmente o ferro, de importantes sítios fisiológicos. Clorose das folhas é, portanto, o sintoma mais

comum observado na toxicidade de cobre, sendo muito semelhante e lembrando a deficiência de ferro.

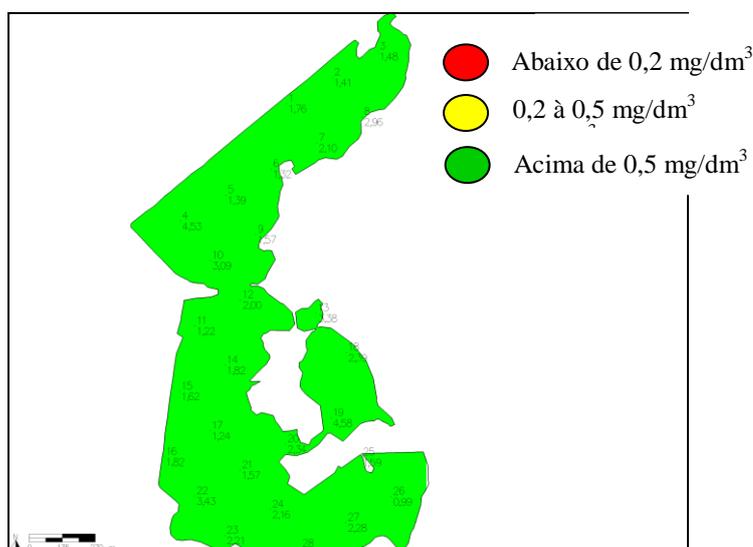


Figura 25 – Mapa dos teores disponíveis de Zinco na área de estudo em 2011.

O Zinco apresentou teores elevados no solo, e com a geração do mapa de variabilidade podemos caracterizar a sua distribuição. Segundo o manual de adubação e calagem, os níveis do solo variaram de: de 0,2 à 0,5 mg/dm³ e maiores de 0,5 mg/dm³, representando aos níveis baixo, médio e alto, respectivamente.

4.2.3 Aplicação dos fertilizantes à Taxa Variável

A aplicação de fertilizantes à taxa variável baseou-se nos níveis presentes no solo, aplicando doses variáveis em função do grau de deficiência presente no local. Foi realizada correção para alcançar a produtividade média de 3600 kg/ha. A aplicação utilizou como fonte de fósforo o fosfato diamônico (DAP), com 45% de P₂O₅ e 16% de N (Nitrogênio). A quantidade total aplicada na área foi de 17.681,91 kg no primeiro ano (2011/12).

Para definir a quantidade a ser aplicada no segundo ano foi estimada a quantidade remanescente no solo, cruzando informações relativas a correção e extração pela cultura. Com base nestas informações foi gerado o mapa de aplicação para o segundo ano safra 2012/13. No segundo ano a partir da recomendação pode-se indicar a quantidade aplica de DAP foi de 1.553,42 kg (2012). A redução na quantidade de fertilizante no segundo ano deve-se a correção realizada no primeiro ano.

A recomendação baseou-se na fertilidade do solo atual e a fertilidade do solo desejada, utilizando como suporte o manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Assim, determinado os teores ideais de cada elemento e, com a matéria prima recomendar as quantidades ideais para a correção do teor de fósforo.

A seguir são apresentados os mapa de aplicação do fosfato diamônico (DAP) no primeiro ano de cultivo (Figura 26) e para o segundo ano (Figura 27).

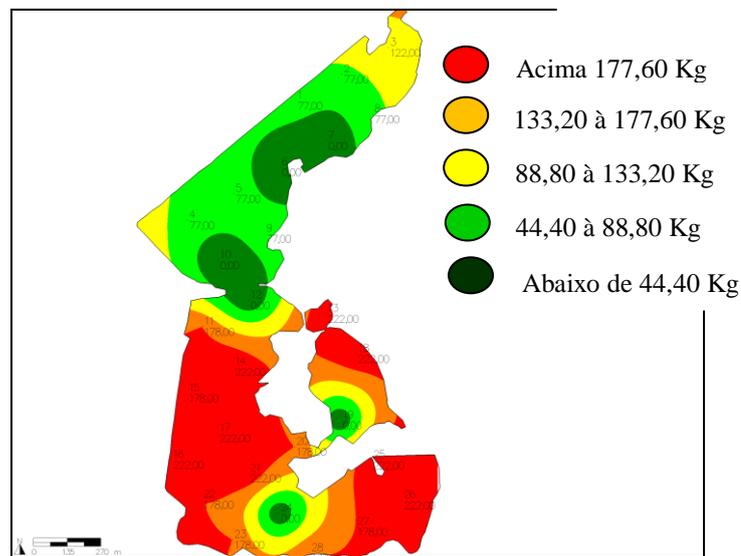


Figura 26 - Mapa de Aplicação do DAP à Taxa Variável no primeiro ano de cultivo, safra 2011/12.

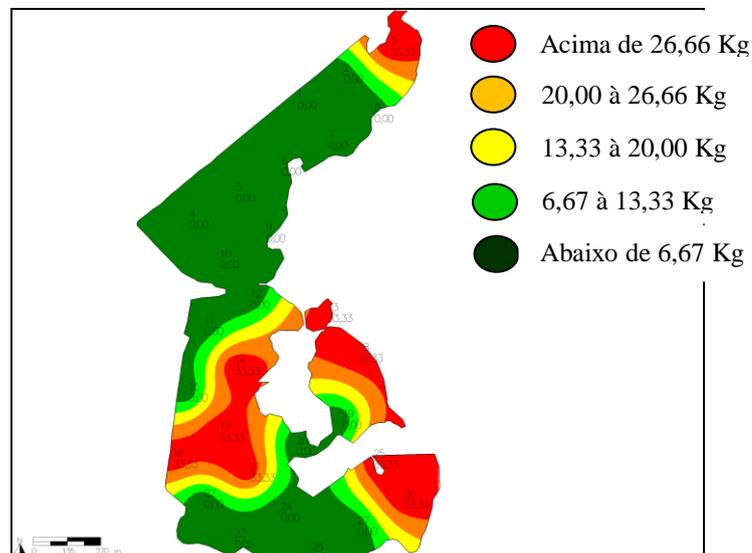


Figura 27 - Mapa de Aplicação do DAP à Taxa Variável no segundo ano de cultivo, safra 2012/13.

A geração dos mapas permite identificar os locais onde a aplicação do adubo será maior devido à deficiência do nutriente e assim controlar aplicações inadequadas que podem subestimar ou superestimar as doses nas áreas, provocando um desperdício de insumos. As doses variaram de 0,0 kg a 222,00 kg no primeiro ano, e de 0,0 kg a 33,00 kg no segundo ano, onde realizou uma adubação de reposição na área que estava mais exigente.

A partir da geração dos mapas de fertilidade podemos perceber que mesmo em alguns locais apresentando níveis adequados de potássio, para alcançarmos uma produtividade superior ao potencial do solo, necessita-se fazer uma adubação de reposição para atingirmos níveis adequados de suprimento as plantas. O cloreto de potássio apresenta na sua constituição 58% de K_2O , sabendo disso, pode-se determinar as quantidades ideais para cada local afim de, alcançar uma produtividade de 3.600 kg/ha.

A variabilidade da aplicação do cloreto de potássio ficou entre 94,83 kg à 232,76 kg no primeiro ano e 51,72 kg à 129,31 kg no segundo ano. A Figura 28 apresenta o mapa de aplicação do cloreto de potássio na safra 2011/12 e a Figura 29 na safra 2012/13.

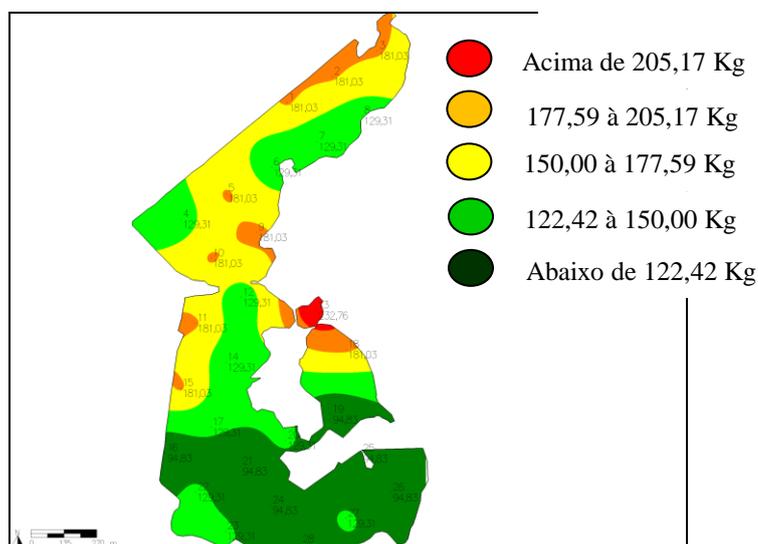


Figura 28 - Mapa de aplicação à taxa variável do cloreto de potássio no primeiro ano de cultivo, safra 2011/12.

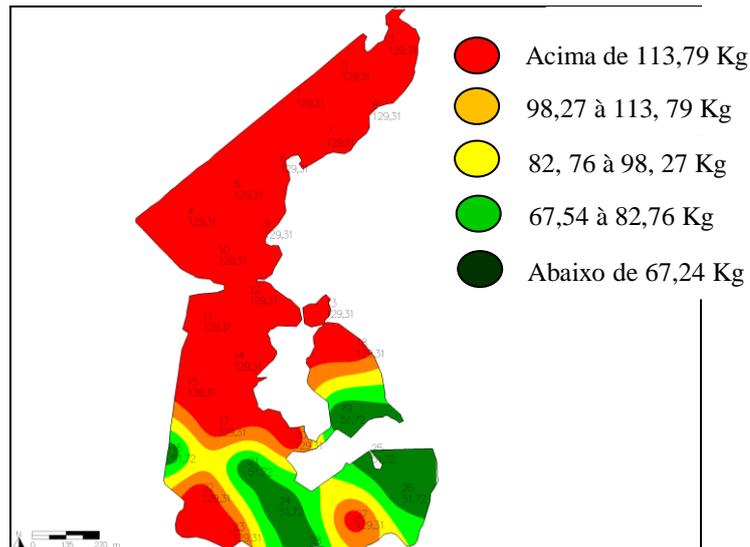


Figura 29 - Mapa de aplicação do cloreto de potássio à taxa variável no segundo ano de cultivo, safra 2012/13.

4.3 Geração dos mapas de produtividade

Uma das principais ferramentas da Agricultura de Precisão é o mapa de produtividade, sendo assim, o mapa de colheita é a informação mais completa para se visualizar a variabilidade espacial das lavouras, para isso é necessário que haja um sistema de registro de dados para máquinas agrícolas, que tenha capacidade de registrar dados de produtividade georreferenciados ou então a posição das amostras de solo coletadas no campo. Também é preciso que o produtor agrícola tenha acesso a um software que gere os mapas de produtividade, de aplicação de insumos e da rastreabilidade, que seja capaz de traduzir estes mapas para uma forma que possa ser usada pelo sistema de controle e monitoramento do implemento.

Para Molin (2002), inicialmente assume-se que o mapa de produtividade de um talhão é um conjunto de muitos pontos. Por ponto entende-se aqui uma pequena porção da lavoura, sendo que, o dado mais importante é a quantidade de grãos colhidos naquele determinado ponto, e enfatiza que é necessário conhecer a posição espacial deste ponto. A geração e interpretação de mapas de produtividade de culturas agrícolas é um dos segmentos da agricultura de precisão, que tem recebido especial atenção de pesquisadores e de fabricantes de máquinas agrícolas, em face de sua importância no contexto do entendimento do processo de variabilidade espacial da produção agrícola e na definição de ações de manejo agrônomo,

que visam o aumento e manutenção sustentada dos índices de produtividade de uma lavoura agrícola.

O mapa de produtividade produz informações detalhadas da produtividade do talhão e dá parâmetros para diagnosticar e corrigir as causas de baixa produtividade em algumas áreas do talhão, os mapas são gerados em Kg/ha como mostra a Figura 30, 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. A produtividade total da área em estudo ficou em 590.524,50 Kg, sendo, 71,23 sacos/há de média final. E variabilidade de produtividade de 3.870 Kg à 5.340 Kg.

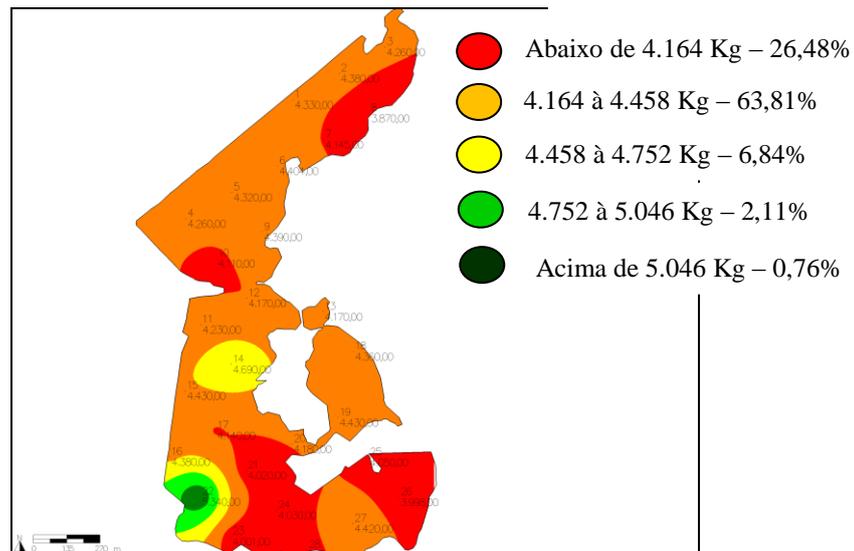


Figura 30 – Mapa de produtividade da área em estudo na safra 2012/13.

4.4 Discussão da aplicação dos fertilizantes a taxa variável

O gráfico a seguir caracteriza a variabilidade dos teores de fósforo disponíveis no momento da amostragem de solo, com os teores adequados ou ideais conforme as características físicas do solo, de classe textural 3 e 4. Demonstrando que a área de estudo apresentava níveis abaixo do adequado segundo o manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.

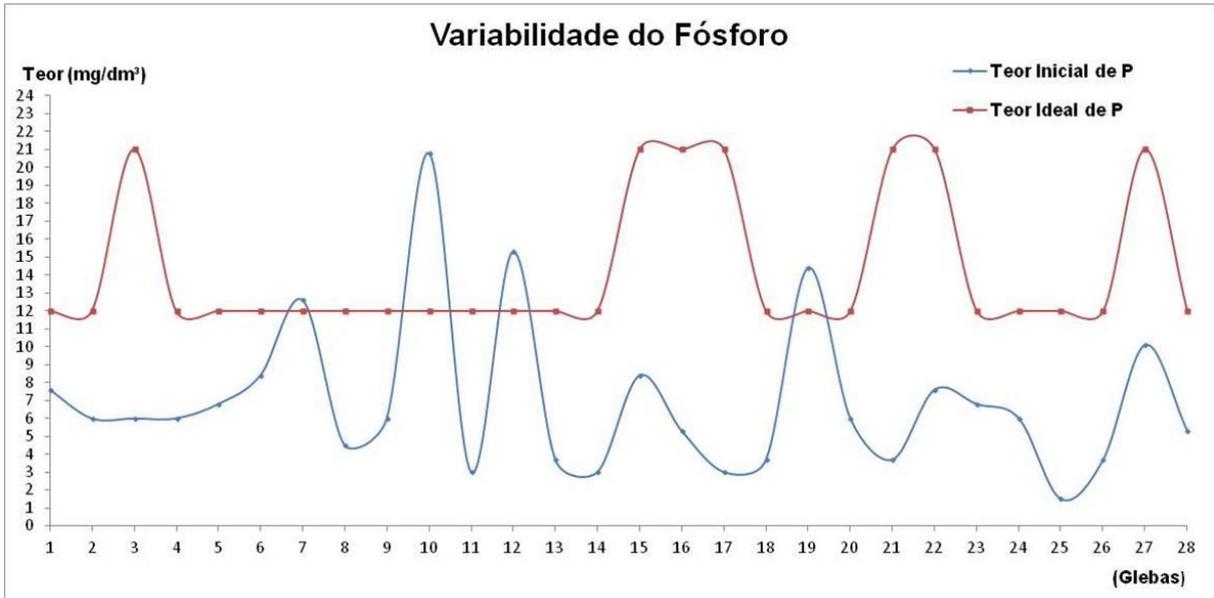


Figura 31 – Gráfico com os teores iniciais no solo e os teores adequados do nutriente para cada gleba.

O gráfico da variabilidade dos teores de potássio demonstra os teores disponíveis no solo no momento da amostragem. Em relação aos teores adequados deste nutriente, conforme o manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Nota-se que os teores de potássio apresentam-se na sua maioria, níveis satisfatórios ao desenvolvimento da cultura e potencialização da produtividade.

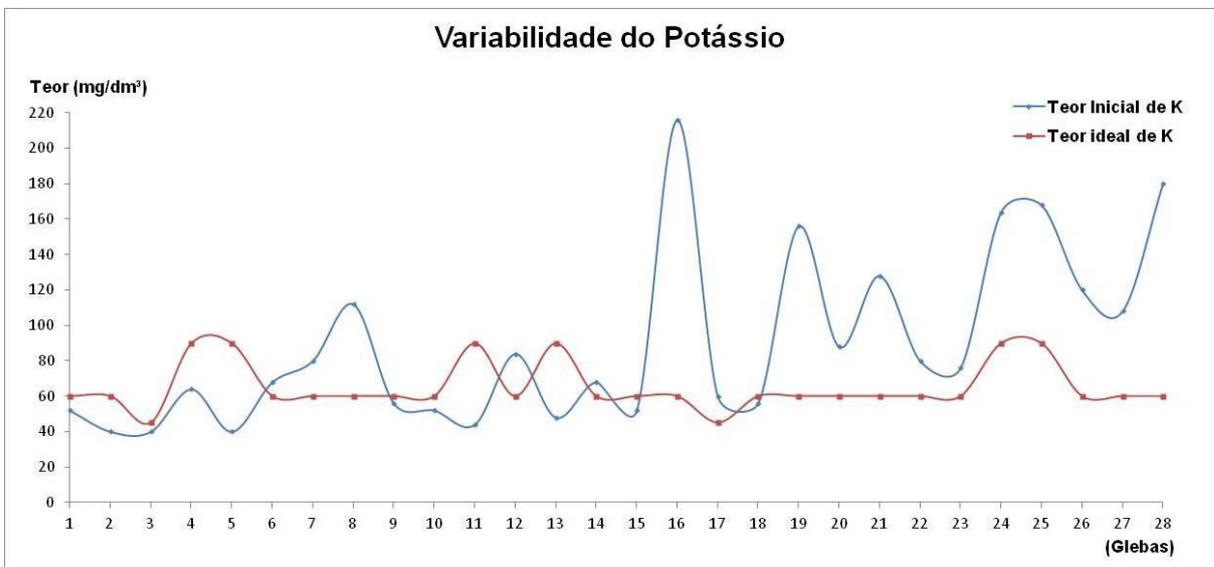


Figura 32 - Gráfico com os teores iniciais no solo e os teores adequados do nutriente para cada gleba.

A partir da caracterização da fertilidade do solo, identificando os teores adequados para cada gleba e localizando as parcelas que estavam com os teores abaixo e elevados, pode-se gerar o gráfico representativo que demonstra a aplicação de fósforo em três formas, onde na aplicação de correção + manutenção representa as quantidades ideais de nutrientes em cada gleba para satisfazer as necessidades de fertilização da área.

Na aplicação de Agricultura de Precisão além de fornecer os nutrientes para correção + manutenção nas quantidades necessárias, também existe um acréscimo nas quantidades devido a busca por uma produtividade de 3.600 Kg/há. E a aplicação convencional nos mostra que em solos com deficiência nutricional, apenas aplicação de base, não satisfaz as necessidades solo, assim a cultura não expressará seu potencial produtivo.

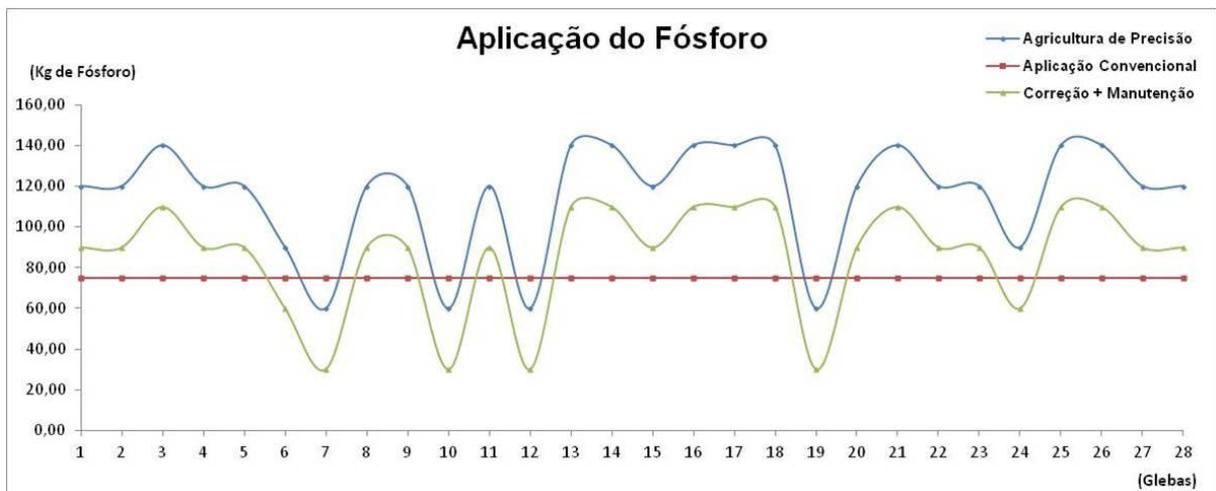


Figura 33 - Gráfico demonstrativo de aplicação do fósforo.

Pode-se perceber no gráfico demonstrativo da aplicação de potássio a necessidade de se fazer uma aplicação diferenciada, afim de, fornecer ao solo condições para potencializar a produtividade na cultura da soja. Na aplicação de correção + manutenção caracteriza a fertilização adequada pra que se atingir os objetivos de fornecimento de nutrientes. Na Agricultura de Precisão, une as quantidades de correção + manutenção com as quantidades ideais para se atingir produtividade de 3.600 Kg/há. E a aplicação convencional, com apenas a adubação de base, mostra que a pequena quantidade de nutriente disponibilizado, não potencializará a produtividade espera pelo produtor rural.

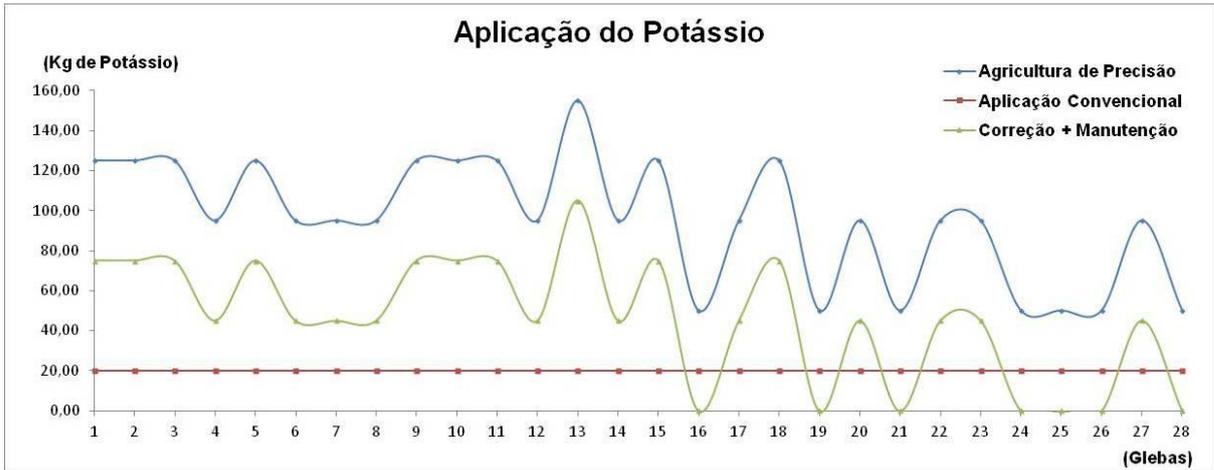


Figura 34 - Gráfico demonstrativo de aplicação do potássio.

5 CONCLUSÃO

Na área de estudo percebeu-se a necessidade da aplicação de calcário para elevar o pH do solo, aumentar os níveis de saturação de base e diminuir a saturação de alumínio. A fertilidade do solo apresentou uma variabilidade nos seus níveis, ocorrendo áreas com carência de nutrientes e áreas com teores adequados, demonstrando a eficiência da técnica de agricultura de precisão na identificação desta variabilidade espacial.

Os teores de fósforo apresentaram níveis abaixo do ideal, necessitando fazer uma adubação de correção e manutenção com aplicação do fosfato diamônico (DAP) à taxa variável. Os teores de potássio disponível apresentaram índices elevados no solo, assim ocorreu à redução na aplicação variável, focando a fertilização da área de estudo ao balanceamento dos níveis de nutrientes disponíveis no solo.

Os micronutrientes Boro, Cobre e Zinco estavam em níveis adequados e alguns acima do ideal, desta forma, descartamos a aplicação de adubação foliar que era realizado pelo produtor rural em anos anteriores, reduzindo os custos da sua lavoura e assim, uma melhor otimização na utilização dos seus implementos agrícolas.

Portanto, a técnica da agricultura de precisão utilizada na área de estudo foi de suma importância, pode-se caracterizar a área e adequar à aplicação de insumos conforme as suas necessidades. Assim houve um incremento da produtividade, racionalização do uso de insumos e preservação ambiental.

6 REFERÊNCIAS

AMADO et al. **Variabilidade espacial e temporal da produtividade de culturas sob sistema plantio direto** Pesq. agrop. Brás., Brasília, v.42, n.8, p. 1101-1110, ago.2007.

ANTUNIASSI, U. R.; BAILO, Fabio Henrique Rojo; SHARP, T. C. **Agricultura de precisão**. In: Eleusio C. Freire. (Org.). Algodão no Cerrado do Brasil. 1 ed. Brasília/DF: ABRAPA, 2007, v.1, p.889-918.

ANTUNIASSI, U.R Agricultura de precisão: aplicação localizada de agrotóxicos. In: GUEDES, J.V.C.; DORNELES, S.H.B. (Org.) **Tecnologia e segurança na aplicação dos agrotóxicos - novas tecnologias**. Santa Maria: Departamento de Defesa Fitossanitária; Sociedade de Agronomia de Santa Maria, 1998. p.53-63.

BORÉM, A. et al.; **Agricultura de precisão**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2000. 467p.

CAMPO, P. do. **Agricultura de precisão**. Inovações no campo. Piracicaba. 2000.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004. 394p.

DELLAMEA R.B.C. et al. **Agricultura de precisão voltada à melhoria da fertilidade do solo no sistema plantio direto** In: XXXVI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2007, Gramado, RS.

FATORGIS. **Agricultura de precisão: A tecnologia de GIS/GPS chega às fazendas**. Curitiba, 1998. Disponível na internet. <http://www.fatorgis.com>. Acessado em 25 de Janeiro de 2013.

GENTIL, L. V.; FERREIRA, S. M. Agricultura de precisão: Prepare-se para o futuro, mas com os pés no chão. **Revista A Granja**, Porto Alegre, n 610, 1999. P.12-17.

LAMPARELLI, R.A.C. et al. **Geoprocessamento e Agricultura de Precisão**. Ed. Agropecuária, 2001. 118p.

LONDERO, G.T. et al. **Aplicação de Fertilizantes Fosfatados Utilizando as Ferramentas de Agricultura de Precisão no Sul do Brasil**. In: XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2007, Gramado, RS.

MANTOVANI, E. C.; QUEIROZ, D. M.; DIAS, G. P. Máquinas e operações utilizadas na agricultura de precisão. In: SILVA, F. M. da (coord.). **Mecanização e agricultura de precisão**. Poços de Caldas: UFLA/SBEA, 1998. p.109-157.

MANZATTO, C. V.; BHERING, S. B.; SIMÕES, M. **Agricultura de precisão: propostas e ações da Embrapa solos**. EMBRAPA solos, 1999. Disponível em [<http://www.cnps.embrapa.br/search/pesqs/proj01/proj01.html>]. Acessado em 1º de Abril de 2013.

MILANI, L. Unidades de manejo a partir de dados de produtividade. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.28, p.591-598, 2006.

MOLIN, J.P. **Agricultura de Precisão** – o gerenciamento da variabilidade. Piracicaba: Ed. Do autor, 2001. 83p.

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

MOLIN, J.P. **Tendências da agricultura de precisão no Brasil**. Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão. Piracicaba, 2008.

ROZA, D. Novidades no campo: Geotecnologias renovam a agricultura. **Revista InfoGEO**, n 11 – jan/fev, 2000. Disponível em [http://www.infogeo.com.br/Revista/materia_11.htm]. Acessado em 15 de Janeiro de 2013.

SCHENATO, R.B. et al., **Definições de zonas de manejo a partir de mapas de produtividade**. In: Reunião Brasileira de manejo e conservação do solo e da água, 2004. Santa Maria, RS.

SILVA, J.R.M. da, GARCIA F.J.M. **Agricultura de Precisão, A agricultura da era planetária**. In: Congresso Internacional de Ingeniería Gráfica Santander, España – 5-7 junio de 2002.

TSCHIEDEL M. FERREIRA M.F. **Introdução à agricultura de precisão: conceitos e vantagens**. Ciência Rural, Santa Maria, RS. v.32, n.1,p. 159-163, 2002.

VALERIANO, M.M.; PRADO, H. Técnicas de geoprocessamento e de amostragem para o mapeamento de atributos anisotrópicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, n.1, p. 997-1005,2001.

VEZZANNI, F.M. **Qualidade do sistema solo na produção agrícola**. 2001. Tese de doutorado. 184 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

EQUAÇÕES

$$\text{pH } 6,0: \text{NC} = - 0,516 + 0,805.(MO) + 2,435.(Al) \quad (1)$$

$$\text{NC (t/ha)} = \frac{\text{CTC} \cdot (V_2 - V_1)}{100} \quad (2)$$