

**UNIJUÍ – UNIVERSIDADE REGIONAL DO NOROESTE DO ESTADO DO RIO
GRANDE DO SUL**

DEAg – DEPARTAMENTO DE ESTUDOS AGRÁRIOS

CURSO DE AGRONOMIA

**AVALIAÇÃO DA FERTILIDADE DO SOLO NA
AGRICULTURA DE PRECISÃO**

ANDRÉ DALLA CORTE VARASCHINI

Ijuí – RS

2012

ANDRÉ DALLA CORTE VARASCHINI

**AVALIAÇÃO DA FERTILIDADE DO SOLO NA
AGRICULTURA DE PRECISÃO**

Monografia de Conclusão de Curso apresentada para a obtenção do título de Bacharel no Curso de Agronomia, na Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ.

Orientador: Jaime Lorenzoni

Ijuí – RS

2012

TERMO DE APROVAÇÃO

ANDRÉ DALLA CORTE VARASCHINI

AVALIAÇÃO DA FERTILIDADE DO SOLO NA AGRICULTURA DE PRECISÃO

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Agronomia da Universidade Regional do
Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, defendido perante a banca abaixo subscrita.

Prof. Jaime Lorenzoni
DEAg/UNIJUÍ – Orientador

Prof. Luiz Volnei Mattos Viau
DEAg/UNIJUÍ

Ijuí, 29 fevereiro de 2012

“O futuro pertence a aqueles
Que acreditam na beleza
De seus sonhos”.
(Ayrton Senna)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus.

Aos meus familiares, por me apoiarem durante esta caminhada, sem medir esforços para a conquista deste sonho.

Ao Sr. Ari Joel Noronha por ter disponibilizado à sua propriedade para o levantamento dos dados.

Ao professor mestre, Jaime Lorenzoni, pela orientação e apoio para realização do trabalho.

Aos colegas pela ajuda, amizade e companheirismo durante o curso.

Enfim, a todos que de uma maneira ou outra participaram e colaboraram para minha formação.

A TODOS, O MEU MUITO OBRIGADO!

AVALIAÇÃO DA FERTILIDADE DO SOLO NA AGRICULTURA DE PRECISÃO

Aluno: André Varaschini
Orientador: Jaime Lorenzoni

RESUMO

A necessidade crescente pela produção de alimentos, a dependência econômica das nações da atividade agrícola e a preocupação com a preservação dos recursos naturais, exige a busca de alternativas que possibilitem atender a essas necessidades. Por isso é fundamental que ocorra modificações nos sistemas de produção, a fim de assegurar a sustentabilidade econômica e ambiental. O interesse em avaliar a qualidade do solo tem aumentado por considerá-lo aspecto fundamental na manutenção e na sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola. Por isso práticas como o plantio direto, rotação de culturas, realização de análises de solo e agora mais recentemente a agricultura de precisão, visam maximizar a produtividade com melhor utilização dos insumos agrícolas, assegurando maior tempo de disponibilidade destes recursos. Além de potencializar o rendimento das culturas e diminuir significativamente os custos de produção, permitindo melhores níveis de renda aos agricultores. Neste sentido a Cooperativa Agropecuária & Industrial – COTRIJUI, vem fomentando a criação de grupos de produtores, bem como, a criação de programas como o PARC – Programa de Agricultura de Resultados Cotrijui, com a finalidade de orientar os produtores na adoção das práticas de manejo mais ajustadas a sua realidade. Desta forma este estudo de caso objetiva analisar os dados históricos de fertilidade do solo, manejo, rendimento de grãos, além do balanço de nutrientes no solo de um produtor integrante do programa PARC. A propriedade localiza-se no interior do município de Ijuí, região noroeste do estado do Rio Grande do Sul. Os dados foram obtidos a partir da coleta pelo método sugerido para as Cooperativas pela CCGL Pesquisa, sendo este realizado com auxílio de um veículo equipado com um trado calador onde as informações foram processadas pelo programa Campeiro. Também foram utilizados os dados históricos de fertilidade, adubação e rendimento das culturas para a realização do balanço nutricional da área em estudo. Com o trabalho de amostragem realizado pela segunda vez pelo método da agricultura de precisão tem como objetivo principal a análise da evolução dos níveis de fertilidade do solo.

Palavras-chaves: agricultura de precisão, fertilidade, balanço de nutrientes.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Níveis de interpretação de análise química do solo para utilização em agricultura de precisão	22
Tabela 2: Histórico das análises de solo	27
Tabela 3: Histórico das adubações nos cultivos e rendimento das culturas	28
Tabela 4: Teores de N, P(P ₂ O ₅) e K (K ₂ O) exportados pelos grãos das culturas em kg ton ⁻¹ (conforme CQFS, 2004) em área sob agricultura de precisão no Noroeste do RS	29
Tabela 5: Balanço nutricional/fluxo de entrada e saída de nutrientes	29
Tabela 6-A: Resultados das análises químicas de solo AP-2008, Gleba 2.....	30
Tabela 6-B: Resultados das análises químicas de solo AP-2011, Gleba 2.....	31

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Grids de amostragem	21
Figura 10-A: Teores de argila 2008, Gleba 2	31
Figura 10-B: Teores de argila 2011, Gleba 2	32
Figura 11-A: Níveis de pH do solo 2008, Gleba 2	33
Figura 11-B: Níveis de pH do solo 2011, Gleba 2	34
Figura 12-A: Níveis de matéria orgânica no solo 2008, Gleba 2	35
Figura 12-B: Níveis de matéria orgânica no solo 2011, Gleba 2	36
Figura 13-A: Teores de cálcio 2008, Gleba 2.....	37
Figura 13-B: Teores de cálcio 2011, Gleba 2.....	38
Figura 14-A: Níveis de magnésio no solo 2008, Gleba 2.....	39
Figura 14-B: Níveis de magnésio no solo 2011, Gleba 2.....	40
Figura 15-A: Níveis de potássio no solo 2008, Gleba 2.....	41
Figura 15-B: Níveis de potássio no solo 2011, Gleba 2.....	42
Figura 16-A: Níveis de fósforo no solo 2008, Gleba 2	43
Figura 16-B: Níveis de fósforo no solo 2011, Gleba 2.....	44
Figura 17-A: Mapa de aplicação de calcário 2008, Gleba 2	46
Figura 17-B: Mapa de aplicação de calcário 2011, Gleba 2.....	47
Figura 18-A: Mapa de aplicação de cloreto de potássio 2008, Gleba 2	48
Figura 18-B: Mapa de aplicação de cloreto de potássio 2011, Gleba 2	49
Figura 19-A: Mapa de aplicação do super fosfato triplo 2008.....	50
Figura 19-B: Mapa de aplicação do super fosfato triplo 2011	51

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Comparativo da argila dos anos de 2008 e 2011.....	33
Gráfico 2: Comparativo do pH dos anos de 2008 e 2011.....	35
Gráfico 3: Comparativo da MO dos anos de 2008 e 2011	37
Gráfico 4: Comparativo do cálcio dos anos de 2008 e 2011	39
Gráfico 5: Comparativo do magnésio dos anos de 2008 e 2011	41
Gráfico 6: Comparativo do potássio dos anos de 2008 e 2011	43
Gráfico 7: Comparativo do fósforo dos anos de 2008 e 2011	45

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 REVISÃO DA LITERATURA	12
2.1 CARACTERIZAÇÃO DOS SISTEMAS DE CULTIVO	12
2.2 PLANTIO DIRETO	12
2.3 EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES	13
2.4 REPOSIÇÃO DE NUTRIENTES	14
2.5 AGRICULTURA DE PRECISÃO	14
2.6 ECONOMIA DE FERTILIZANTES E INCREMENTO DE PRODUTIVIDADE	18
2.7 EFEITO AMBIENTAL DECORRENTE DA UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAS COMO A AGRICULTURA DE PRECISÃO	18
3 MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1 LOCAL	20
3.2 COLETA DE DADOS	20
3.3 MÉTODO DA AGRICULTURA DE PRECISÃO	20
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	26
4.1 EVOLUÇÃO DA FERTILIDADE DO SOLO	26
4.2 HISTÓRICO DAS ADUBAÇÕES NOS CULTIVOS	28
4.3 BALANÇO NUTRICIONAL DA GLEBA	29
4.4 RESULTADOS DAS ANÁLISES QUÍMICAS DE SOLO AP	30
4.5 MAPAS DE INTERPRETAÇÃO	31
4.6 MAPAS DE APLICAÇÃO A TAXA VARIÁVEL	45
5 CONCLUSÕES	52
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53

1 INTRODUÇÃO

O solo é um meio formado por componentes químicos, físicos e biológicos, sob influência das condições climáticas e das práticas de manejo adotadas pelo homem, sofre constantes e profundas transformações. Estas transformações nos permitem entender um pouco da evolução dos níveis de fertilidade, bem como, explicar os índices de produtividade obtidos nos últimos anos.

A necessidade crescente pela produção de alimentos, a dependência econômica das nações da atividade agrícola e a preocupação com a preservação dos recursos naturais, exige a busca de alternativas que possibilitem atender a essas necessidades. Por isso é fundamental que ocorra modificações nos sistemas de produção, a fim de assegurar a sustentabilidade econômica e ambiental.

O interesse em avaliar a qualidade do solo tem aumentado por considerá-lo aspecto fundamental na manutenção e na sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola. Por isso práticas como o plantio direto, rotação de culturas, realização de análises de solo e agora mais recentemente a agricultura de precisão, visam maximizar a produtividade com melhor utilização dos insumos agrícolas, assegurando maior tempo de disponibilidade destes recursos. Além de potencializar o rendimento das culturas e diminuir significativamente os custos de produção, permitindo melhores níveis de renda aos agricultores.

Na atual conjuntura, em tempos de globalização e sustentabilidade, a agricultura brasileira é obrigada a rever conceitos. Exemplos é o manejo localizado de insumos (Agricultura de Precisão). E a região noroeste do estado do Rio Grande do Sul não foge a regra, possuindo bom nível de tecnificação, a semeadura sob a palha é uma realidade, e agora começa a transformar conhecimento relativo ao manejo localizado de insumos. Neste sentido a Cooperativa Agropecuária & Industrial – COTRIJUI, vem fomentando a criação de grupos de produtores, bem como, a criação de programas como o PARC – Programa de Agricultura de Resultados Cotrijui, com a finalidade de orientar os produtores na adoção das práticas de manejo mais ajustadas a sua realidade e com o objetivo de levar até eles os pressupostos da sustentabilidade. Além de proporcionar aos extensionistas o uso de ferramentas sofisticadas que contribuem para a utilização racional dos insumos.

Desta forma, este estudo de caso busca analisar os dados históricos de fertilidade do solo, manejo, rendimento de grãos e o balanço de nutrientes no solo de uma gleba da propriedade, que se encontra na segunda aplicação a taxa variável de corretivos, verificando a

eficiência obtida na realização das aplicações de corretivos a taxa variável. A propriedade localiza-se no interior do município de Ijuí, região noroeste do estado do Rio Grande do Sul.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Embora o manejo do solo tradicionalmente adotado pelos agricultores seja uniforme em uma determinada área ou gleba, a resposta a este manejo será diferenciada em função do histórico da área e das diferentes práticas (erosões, compactações, erros anteriores na aplicação de insumos – subfertilizações ou superfertilizações, histórico de colheitas e exportações de nutrientes, entre outros). A variabilidade na produtividade de uma cultura dentro do campo pode ser inerente do solo, clima ou induzida pelo manejo. Entre modificações nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo causadas por práticas de manejo, estão a compactação do solo pelas máquinas agrícolas e a variabilidade no estande das culturas e nos teores de nutrientes no solo devido à aplicação desuniforme de sementes, fertilizantes ou corretivos (CASSEL et al., 1988; RUNGE; HONS, 1998; PLANT et al., 1999).

2.1 CARACTERIZAÇÃO DOS SISTEMAS DE CULTIVO

O sistema de produção, na escala de um estabelecimento agrícola pode ser definido como uma combinação dos recursos disponíveis para a obtenção das produções vegetais, ou concebidas como uma combinação mais ou menos coerente de diversos subsistemas produtivos ou sistemas de cultivo. Nos sistemas de cultivo existem várias relações que interferem na fertilidade do solo, nas sucessões e/ou rotações culturais e no manejo geral empregado nas culturas. Estas relações proporcionam reflexos diretos e indiretos, imediatos ou acumulativos sobre os rendimentos obtidos, sobre a qualidade dos solos (estrutura, CTC, M.O), sobre o ambiente, sobre a economia e sociedade.

Embora cada uma destas práticas possua características peculiares dentro dos sistemas de cultivo é necessário realizar uma breve abordagem dos aspectos mais relevantes do sistema de plantio direto e da agricultura de precisão que são componentes do sistema de cultivo.

2.2 PLANTIO DIRETO

O Sistema Plantio Direto (SPD) é um sistema de manejo do solo onde a palha e os restos vegetais são deixados na superfície do solo. O solo é revolvido apenas no sulco onde são depositadas sementes e fertilizantes. As plantas infestantes são controladas por herbicidas.

Não existe preparo do solo além da mobilização no sulco de plantio. Amplamente empregado nas lavouras de nossa região, contribuiu para minimizar a degradação do solo pela erosão e proporcionar a diminuição da lixiviação de nutrientes, principalmente pelo acúmulo de resíduos culturais, pela manutenção da cobertura do solo na maior parte do ano e, pela mínima mobilização.

A expansão do sistema plantio direto, com área plantada superior a 21 milhões de hectares no Brasil, em 2004, segundo a Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha, tem motivado discussões e questionamentos no que diz respeito a sua influência na dinâmica da água no solo, na resistência à penetração, aeração e atributos químicos do solo. Reduzir a erosão, melhorar as condições físicas e químicas de fertilidade do solo, aumentar o teor de matéria orgânica, nutrientes e água armazenada no solo, diminuir o consumo de combustíveis e ainda manter a produtividade das culturas, são benefícios que o SPD proporciona na busca da sustentabilidade na agricultura.

Desde 2001 o SPD brasileiro é indicado pela FAO (Fundo das Nações Unidas para a Agricultura) como modelo de agricultura.

Considera-se que para o sucesso do sistema são fundamentais a rotação de culturas e o manejo integrado de pragas, doenças e plantas invasoras.

A prática do plantio direto, além de sua importância fundamental na conservação do solo, foi o elemento precursor e responsável pelo surgimento de novas cultivares agrícolas, equipamentos especializados, insumos e novos paradigmas de produtividade e de manejo do solo, entre outros.

2.3 EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES

A extração e a exportação de nutrientes pelos grãos são importantes para o estabelecimento dos níveis adequados de adubação de cada cultura e para a elevação do nível de fertilidade do solo.

As necessidades nutricionais de qualquer planta são determinadas pela quantidade de nutrientes que esta extrai durante o seu ciclo. Esta extração total dependerá, portanto, do rendimento obtido e da concentração de nutrientes nos grãos e na palhada. Assim, para a produção de grãos é necessário colocar à disposição da planta a quantidade total de nutrientes que esta extrai, e que devem ser fornecidos pelo solo e através de adubações.

Características genéticas, condições edafoclimáticas e técnicas de cultivo podem diferenciar o crescimento e desenvolvimento da planta, bem como a composição e a qualidade

do grão, onde o somatório destes fatores proporciona uma translocação eficiente para os grãos em desenvolvimento.

2.4 REPOSIÇÃO DE NUTRIENTES

Considera-se que a fertilidade do solo seja um dos principais fatores responsáveis pela baixa produtividade das áreas destinadas para a produção de grãos. Isto pode ocorrer em função das adubações utilizadas não suprirem as quantidades exportadas de nutrientes. Por isso as quantidades de nutrientes necessários para uma determinada cultura devem ser observados a partir da análise de solo e podem ser estabelecidas pela quantidade de nutrientes retirados pelos grãos ou pela massa seca, sendo chamada de adubação de reposição.

2.5 AGRICULTURA DE PRECISÃO

Uma das mais freqüentes preocupações e também motivação da pesquisa agrônômica moderna, é o incremento da produtividade por unidade de área, com redução de custos de produção, minimização de efeitos ambientais danosos e aumento da rentabilidade do produtor rural, entre outros fatores.

A necessidade de aumentar a produção por área para ganhar competitividade no mercado e garantir a produtividade sem degradar o meio ambiente tem exigido que o conhecimento detalhado das variáveis envolvidas no sistema de produção seja cada vez maior. Neste sentido, conhecer a variabilidade espacial dos atributos químicos do solo é fundamental, principalmente quando existe a possibilidade de otimização de recursos para a produção.

Na agricultura tradicional grande áreas são consideradas homogêneas; nelas a necessidade média de utilização dos insumos promove o uso de doses iguais de fertilizantes, desconsiderando a variabilidade espaço-temporal, podendo sobrecarregar uma gleba que é fértil e não atingir níveis ótimos para uma alta produtividade em outras glebas deficientes. Como consequência, há desbalanço no uso de fertilizantes, comprometendo o rendimento das lavouras e tornando alto o custo de produção. Essa condição pode ocasionar menor produção da área e maior impacto ambiental (MACHADO et al., 2007).

Na agricultura tradicional a base de recomendações de fertilizantes e corretivos é indicada conforme dados obtidos em uma única amostra, representando supostamente uma gleba uniforme quanto a sua fertilidade. Baseando-se nos resultados das análises, uma única

dose de corretivo é recomendada para toda a gleba, onde o uso desuniforme de fertilizantes nos cultivos aumenta a variabilidade espacial dos nutrientes.

Tão importante quanto se buscar altos índices de produtividade na produção agrícola é pensar em rentabilidade, eficiência, tecnologia, inovação e condições de trabalho, através do estudo e da racionalização dos processos e métodos que transformam os insumos em produtos. WILD et al. (2003) afirmam que rentabilidade é o fator chave determinante da viabilidade de produção e esta baseada na simples relação entre renda e custo. Mapas de atributos físicos e químicos do solo, a partir dos quais se pode realizar a comparação com os mapas de produtividade e verificar a influência de um determinado atributo na produção, associam-se às técnicas desenvolvidas para obtenção de produtividade mais elevada.

As técnicas de geoprocessamento fornecem subsídios para a identificação e correlação das variáveis que afetam a produtividade e conseqüentemente a viabilidade financeira de áreas utilizadas para o plantio. Inúmeras técnicas vêm surgindo, buscando a relação entre produtividade, os atributos do solo e do relevo, visando obter as principais limitações à produção de uma determinada área ou região. Neste sentido, segundo Vettorazzi & Ferraz (2000), a coleta e análise de dados geoespaciais é uma das técnicas utilizadas, viabilizando intervenções localizadas no cultivo, com a exatidão e a precisão adequada, a qual se define como agricultura de precisão (AP).

Segundo Giotto et al. (2007), inúmeros aspectos da tecnologia de informação podem ser utilizados na agricultura de precisão, tais como: geotecnologias (GPS – Global Positioning System), sistemas informatizados de coleta de dados, sensores remotos locais, orbitais e não orbitais, softwares para tratamento e mapeamento destes dados (Sistema de Informações Georeferenciadas - GIS) e sistemas automáticos de acionamento e controle de máquinas e equipamentos agrícolas.

Criado pelo Departamento de Defesa dos EUA o Sistema de Posicionamento Global (GPS), é constituído por 27 satélites com transmissores e sinais aclopados. Através do sinal do equipamento o mesmo nos fornece a posição espacial (latitude e longitude) de um ponto sobre a superfície terrestre em um referencial tridimensional. Assim podemos dizer que a tecnologia de informação juntamente com a tecnologia do GPS aplicada as Ciências Agrícolas, geram um novo campo no conhecimento agrônômico e no vocabulário de técnicos e produtores rurais, a Agricultura de Precisão (GIOTTO et al., 2007).

Para Balastreire (2000) os principais benefícios econômicos que podem advir da utilização da AP são decorrência da possibilidade de se fazer aplicação localizada de insumos à taxa variável em cada ponto do campo, nas proporções adequadas às suas necessidades

reais, possibilitando assim a melhoria das suas características. Aplica-se, portanto, as quantidades certas nos locais certos, e com isso, pode-se aumentar a produtividade das culturas com redução de custos.

A partir do impulso das técnicas de agricultura de precisão, o estudo da variabilidade espacial da disponibilidade de nutrientes minerais em solos agrícolas tornou-se uma ferramenta eficiente para a introdução de novas práticas de adubação. A amostragem de solo detalhada da lavoura, com o georreferenciamento de cada ponto, permitiu adubações em taxa variável dos nutrientes exigidos. O conhecimento detalhado da variabilidade espacial dos atributos da fertilidade do solo e da produtividade pode aperfeiçoar as aplicações localizadas de corretivos e fertilizantes, melhorando dessa maneira o controle do sistema de produção das culturas, reduzindo os custos gerados pela alta aplicação de insumos e a degradação ambiental provocada pelo excesso de nutrientes.

A agricultura de precisão é um sistema de gestão ou de gerenciamento da produção agrícola, composto de tecnologias e procedimentos utilizados para que as lavouras e o sistema de produção sejam otimizados, com eficiente uso dos recursos de produção, minimização dos efeitos indesejáveis ao meio ambiente e aumento de produtividade, tendo como elemento chave o gerenciamento da variabilidade espacial da produção e dos fatores a ela relacionados.

A agricultura de Precisão é um novo paradigma de gerenciamento agrícola que está contribuindo para alterar a forma de se praticar agricultura em todo o mundo. O fundamento da Agricultura de Precisão é a existência da variabilidade significativa dentro de um talhão ou unidade mínima de manejo da agricultura convencional. (SARAIVA et al., 2000, p.109-145).

Um sistema agrícola que adote a agricultura de precisão requer três subsistemas: sensoriamento (levantamento dos dados), gerenciamento (tomada de decisão) e controle (manipulação dos dados). Embora todos sejam imprescindíveis, o sensoriamento é o mais importante deles (SCHUELLER, 2000). Dessa forma, o estudo da variabilidade espacial, com a finalidade de sensoriamento da área, torna-se parte essencial da agricultura de precisão.

O método mais comum de estudar esta variabilidade espacial consiste na utilização da geoestatística. A geoestatística é fundamentada na teoria das variáveis regionalizadas, segundo a qual os valores de uma propriedade do solo estão de alguma forma relacionada à sua distribuição espacial; logo, as observações tomadas a curtas distâncias devem ser mais semelhantes do que aquelas tomadas a distâncias maiores. O emprego da geoestatística com o objetivo de avaliar a estrutura espacial das variáveis introduz uma nova e importante dimensão para a análise da interação entre propriedades do solo e atributos das culturas. As ferramentas da geoestatística permitem análise de dependência espacial, como também,

estimativa de dados, para locais não amostrados, através de um estimador sem tendenciosidade (VIEIRA, 2000). Com a utilização destas ferramentas pode-se analisar adequadamente dados de experimentos, com a possibilidade de obter-se informações escondidas para a estatística clássica e efetuar análise do efeito da qualidade do solo no rendimento das culturas.

Yang et al. (2002) afirmaram que diversos graus de variabilidade espacial na produtividade de grãos de diversas culturas têm sido documentados, mas raramente têm eles sido associados com variabilidade espacial da fertilidade do solo, o que gera a necessidade avaliar as práticas de manejo adotadas.

Dos conjuntos de técnicas já recomendadas em escala de campo, a agricultura de precisão é a versão que mais se aprofunda na variabilidade dos fatores que interferem na produção agrícola. Em última análise o objetivo é fornecer os insumos na quantidade e no momento em que as culturas necessitam de forma a aumentar a produtividade e reduzir a degradação do ambiente.

A Agricultura de Precisão (AP) apresenta-se como uma moderna ferramenta para auxiliar o produtor na definição das melhores estratégias de manejo a serem adotadas, visando aumentar a eficiência da atividade agrícola. Especificamente, no manejo do solo, a AP tem como principal conceito aplicar no local correto (espaço), no momento adequado (tempo), as quantidades de insumos necessários (quantidade) à produção agrícola, para áreas cada vez menores e mais homogêneas, tanto quanto a tecnologia e os custos envolvidos o permitam.

Os estudos na área de agricultura de precisão abrangem vários tópicos, dentre eles destaca-se: variabilidade de recursos naturais, variabilidade de manejo, tecnologia de engenharia, socioeconômica, meio ambiente e transferência de tecnologia.

De acordo com PLANT (2001), três critérios são requisitos básicos para justificar a implantação de agricultura de precisão, são eles: que exista significativa variabilidade espacial dos fatores que influenciam a produção das culturas, que as causas desta variabilidade possam ser identificadas e medidas, e que as informações dessas medidas possam ser usadas para modificar as práticas de manejo das culturas visando o aumento da lucratividade e diminuição dos impactos ambientais.

A disponibilidade de novas e melhores tecnologias facilitou a introdução dos “sistemas de manejo específicos” na agricultura, os quais a agricultura de precisão é uma delas.

2.6 ECONOMIA DE FERTILIZANTES E INCREMENTO DE PRODUTIVIDADE

Os manejos tradicionais na utilização dos fertilizantes nos sistemas de produção de grãos ao redor do mundo têm mostrado algumas limitações do ponto de vista de sua eficiência, bem como, apresentando algumas situações de contaminação ambiental.

Para que a recomendação e a utilização dos fertilizantes sejam eficientes, será necessário utilizar várias ferramentas da agricultura de precisão em conjunto, com o sensoriamento de solo e plantas, para que se tenha a habilidade de medir a disponibilidade dos nutrientes do solo e a necessidade da cultura, e assim aplicar espacialmente as doses de fertilizantes de acordo com a necessidade de cultura (SOLARI, 2006).

Diferente da aplicação uniforme de fertilizantes e corretivos, que podem resultar em áreas com aplicações abaixo ou acima da dose necessária, a aplicação em taxas variáveis possibilita melhores produtividades e eficiência do uso de nutrientes com simultânea redução do potencial de poluição ambiental (BERNARDI, 2004).

Segundo Molin et al. (2006) alguns produtores já conseguiram um aumento de 4% na produtividade de milho com aplicação de um fertilizante formulado em taxa variável na cultura do milho, mesmo com uma redução de 14% no consumo total de fertilizante. A recomendação em taxa variável foi feita a partir da variabilidade espacial do fósforo, obtida com amostragens de solo em grade.

A determinação da eficiência no uso do nitrogênio (EUN) na agricultura, por exemplo, é uma forma importante de avaliar o destino da aplicação mineral de fertilizantes e o seu papel no aumento de produtividade (FAGERIA & BALIGAR, 2005).

Segundo Ruffato et. al (2006) em trabalho realizado em Campo Mourão – PR em área experimental de 236,65 hectares, concluiu que em 51% da área foram recomendados pelo sistema da agricultura tradicional quantidades superiores a necessidade encontradas pelo Sistema de Agricultura de Precisão, o que acarreta, além do desperdício de fertilizantes, fonte de possível contaminação do ambiente, sem esquecer que esse recurso se trata de um bem finito.

2.7 EFEITO AMBIENTAL DECORRENTE DA UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAS COMO A AGRICULTURA DE PRECISÃO

Os impactos negativos causados pelo uso de fertilizantes minerais são considerados uma grande ameaça ambiental em sistemas de produção agrícola. A contaminação causada

principalmente por nitrogênio (N) em águas subterrâneas e de superfície é considerada uma grande ameaça à integridade do meio ambiente, pois resulta em potenciais problemas à saúde humana e degradação de superfícies aquáticas. A aplicação de fertilizantes nitrogenados não levando em consideração a variabilidade espacial da lavoura pode causar uma fertilização em excesso e, como consequência, afetar a qualidade da água do ambiente em questão, uma vez que compostos como o nitrato (NO_3^-), por exemplo, apresentam alta solubilidade em água e baixa retenção no solo. Por outro lado, a insuficiente adubação pode gerar drásticas reduções de produtividade.

O uso de aplicação de N a taxa variada apresenta um grande potencial para redução de contaminação ambiental devido a precisa alocação das quantidades adequadas do fertilizante mineral. A adoção de tecnologias de gerenciamento específico da lavoura é uma opção segura para produtores que buscam produção máxima e ambientalmente correta. Em vista disto, a agricultura de precisão se destaca como uma importante ferramenta de gerenciamento que permite a precisa alocação de insumos na lavoura, baseando-se na sua variabilidade espacial e nas necessidades específicas da cultura.

Oliveira (1999) discorre sobre a importância de se conhecer e considerar as perdas de nitrato através da lixiviação, não só para fins econômicos como também para a prevenção da contaminação das águas superficiais e subterrâneas e, para auxiliar no manejo correto da adubação nitrogenada em sistema de plantio direto.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCAL

Este estudo foi realizado analisando os dados históricos de fertilidade do solo, manejo e rendimento de grãos, bem como, dos procedimentos e métodos de coleta de amostras de solo tradicionais e da agricultura de precisão.

A coleta das informações foi realizada junto à propriedade de um associado integrante do PARC – Programa de Agricultura de Resultados Cotrijui, estando localizada no interior do município de Ijuí, mais precisamente na propriedade do Sr. Ari Joel Noronha na localidade de Rincão da Ponte, onde o solo é caracterizado como Latossolo Vermelho distroférico típico pertencente a unidade de mapeamento Santo Ângelo (STRECK et al., 2002).

O programa consiste num aprimoramento dos GATD chamados de Grupo de assistência técnica dirigida, no qual os extensionistas da Cooperativa vêm desenvolvendo há mais de 10 anos, práticas que auxiliam na gestão dos atributos químicos e físicos do solo e no gerenciamento dos resultados obtidos. Desta forma, a cooperativa verificou a necessidade de ir ao encontro das necessidades dos seus assistidos e das novas tecnologias existentes como a agricultura de precisão, disponibilizando aos seus associados este programa.

3.2 COLETA DE DADOS

Os dados de campo foram obtidos, pelo método da pesquisa em desenvolvimento sobre Agricultura de Precisão, sugerido para as Cooperativas pela CCGL Pesquisa em parceria com a Universidade Federal de Santa Maria.

A área amostrada está sendo manejada sob o Sistema de Plantio Direto há mais de quinze anos, constituindo então um sistema consolidado.

3.3 MÉTODO DA AGRICULTURA DE PRECISÃO

Para realizar a coleta das amostras de solo seguindo o modelo da agricultura de precisão foram utilizados:

- sistema de GPS (Global Positioning System): marca comercial Garmin;
- programa de navegação: marca comercial Campeiro;

- computador portátil
- um veículo automóvel marca Jeep 4x4 equipado com estas ferramentas acima relacionadas, mais um trado calador acionado mecanicamente para coleta das amostras.

- Mapeamento da lavoura:

O primeiro procedimento foi realizar o mapeamento da lavoura, sendo realizado com auxílio do GPS através do caminhamento ao redor ou em torno da área, obtendo-se o mapa da área percorrida. O caminhamento da área deu-se no sentido anti-horário por ser uma exigência do programa Campeiro.

- Estabelecimento do Grid de amostragem:

A partir do mapa obtido da área estabeleceu-se o grid de amostragem, sendo que a Cooperativa adota como padrão de amostragem para áreas acima de 50 hectares, um grid de 3 hectares e áreas abaixo de 50 hectares, utiliza-se grid de 2 hectares. Desta forma, na área foi utilizado grid de 2 hectares cada, resultando num total de 8 grids na área, conforme demonstra a figura 1.

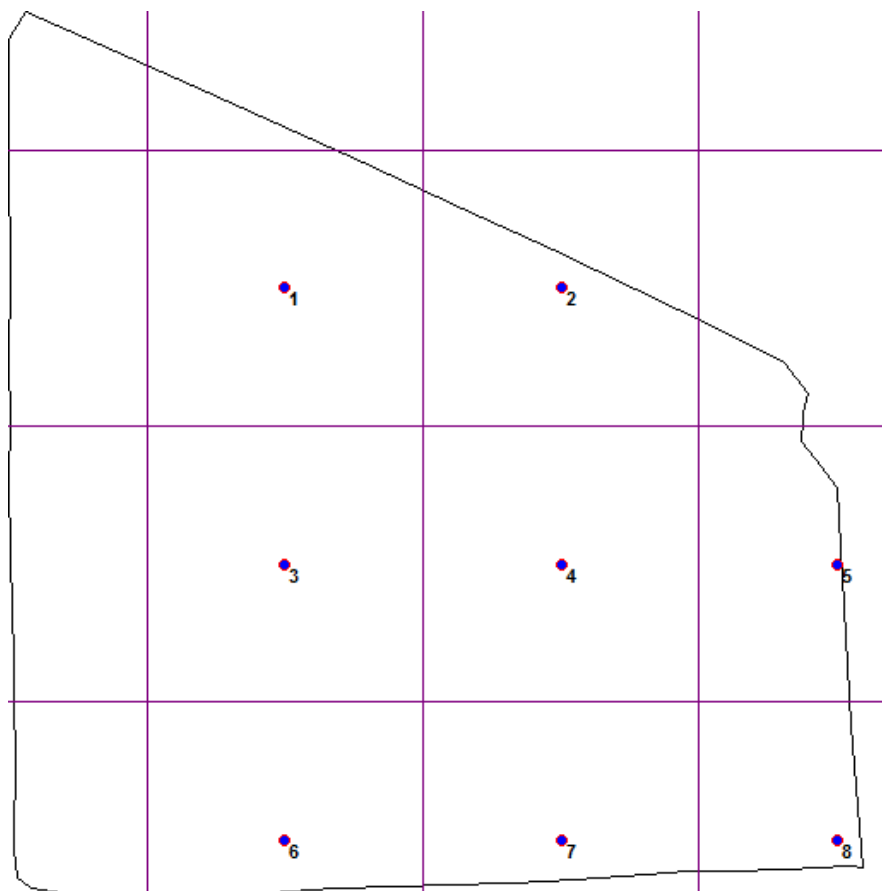


Figura 1: Grids de amostragem

Fonte: PARC.

COLETA DAS AMOSTRAS

As amostras foram coletadas, a uma profundidade de 15 cm, cada amostra foi composta por 12 sub amostras, coletadas em um raio máximo de 10 m do ponto central do grid.

- Elaboração dos mapas de interpretação:

A partir dos resultados das análises químicas de solo foi realizada a interpretação dos valores obtidos e elaborados os mapas de interpretação para posterior cálculo dos fertilizantes a serem utilizados a partir de mapas de aplicação. A tabela a seguir demonstram os níveis e critérios de interpretação das análises químicas do solo.

Tabela 1: Níveis de interpretação de análise química do solo para utilização em agricultura de precisão

Fósforo (classe 1) - Argila > 60 %

NÍVEL A ATINGIR	12	15	18
	Intervalos	Intervalos	Intervalos
Muito baixo	< 2	< 2.5	< 3
Baixo	2.1 – 4.0	2.5 - 5.0	3.1 - 6.0
Médio	4.1 – 6.0	5.1 - 7.5	6.1 - 9.0
Alto	6.1 – 12.0	7.6 - 15	9.1 - 18
Muito alto	> 12.0	>15	> 18

Fórmula para o P.

Kg/Super Triplo/há Classe 1 = ((Nível à atingir (-) Média do intervalo) x 20) / 0.46
Classe 2 Multiplica por 15; Classe 3 multiplica por 10; Classe 4 multiplica por 7.5

Fósforo (classe 2) - Argila 41 - 60 %.

NÍVEL A ATINGIR	18	21	24
	Intervalos	Intervalos	Intervalos
Muito baixo	< 3	< 3.5	< 4
Baixo	3.1 - 6.0	3.6 - 7.0	4.1 – 8.0
Médio	6.1 - 9.0	7.1 - 12.0	8.1 – 15.0
Alto	9.1 - 18	12.1 - 21.0	15.1 – 24.0
Muito alto	> 18	> 21	> 24

Fósforo (classe 3) - Argila 21 - 40 %

NÍVEL A ATINGIR	24	33	42
	Intervalos	Intervalos	Intervalos
Muito baixo	< 4	< 5.5	< 7
Baixo	4.1 – 8.0	5.6 - 11.0	7.1 – 14.0
Médio	8.1 – 15.0	11.1 - 19.5	14.1 – 24.0
Alto	15.1 – 24.0	19.6 - 33.0	24.1 – 42.0
Muito alto	> 24	>33	> 42

Fósforo (classe 4) - Argila < 21 %

NÍVEL A ATINGIR	30	40	50
	Intervalos	Intervalos	Intervalos
Muito baixo	< 7	< 8.5	< 10
Baixo	7.1 – 12.0	8.6 - 15.0	10.1 - 22.0
Médio	12.1 – 21.0	15.1 - 27.0	22.1 - 33.0
Alto	21.1 – 30.0	27.1 - 40.0	33.1 - 50.0
Muito alto	> 30	>40	> 50

Potássio CTC pH 7.0 - < 5.0

NÍVEL A ATINGIR	120	140	160
	Intervalos	Intervalos	Intervalos
Muito baixo	< 20	< 25	< 30
Baixo	21 - 40	26 - 50	31 - 55
Médio	41 - 60	51 - 70	55 - 80
Alto	61 - 120	71 - 140	81 - 160
Muito alto	> 120	> 140	> 160

Fórmula para o K.

Kg/Clor. Pot./há (CTC < 5,0) = ((Nível à atingir (-) Média do intervalo) x 3.0) / 0.6

CTC entre 5.1 e 10.0 Multiplica por 2.0; CTC 5.1 e 15.0 Multiplica por 1.5

CTC > 15.0 Multiplica por 1.2

Potássio CTC pH 7.0 - 5.1 - 10.0

NÍVEL A ATINGIR	180	190	200
	Intervalos	Intervalos	Intervalos
Muito baixo	< 30	< 35	< 40
Baixo	31 – 60	36 - 65	41 – 70
Médio	61 – 90	66 - 95	71 – 100
Alto	91 – 180	96 - 190	100 – 200
Muito alto	> 180	>190	> 200

Potássio CTC pH 7.0 - 10.1 - 15.0

NÍVEL A ATINGIR	240	250	260
	Intervalos	Intervalos	Intervalos
Muito baixo	< 40	< 45	< 50
Baixo	41 – 80	46 - 85	51 – 90
Médio	81 – 120	86 - 125	91 – 131
Alto	121 – 240	126 - 250	131 – 260
Muito alto	> 240	>250	> 260

Potássio CTC pH 7.0 - > 15.0

NÍVEL A ATINGIR	300	310	320
	Intervalos	Intervalos	Intervalos
Muito baixo	< 50	< 55	< 60
Baixo	51 – 100	56 - 105	61 - 110
Médio	101 – 150	105 - 165	111 - 180
Alto	150 – 300	166 - 330	181 - 360
Muito alto	> 300	> 330	> 360

<u>Ca:</u>	<u>Mg:</u>	<u>MO</u>	<u>pH</u>	
0 - 2	0 - 0.5	0 - 1.5	0 - 4.8	Muito Baixo
2.1 - 4	0.6 - 1.0	1.6 - 2.5	4.9 - 5.3	Baixo
4.1 - 8	1.1 - 2.0	2.6 - 3.5	5.4 - 5.75	Médio
8.1 - X	2.1 - X	3.6 - 4.5	5.76 - X	Alto
		4.6 - X		

<u>SB</u>
0 - 44
45 - 64
65 - 74
75 - X

Mapas de pH em água

	classes	Média Intervalo	
pH	< 4.9		Correlaciona com SMP
pH	4.9 – 5.1		Conforme SMP - Ton Calcário/há
pH	5.2 – 5.4		
pH	5.5 – 5.75		
pH	5.76 - 6.0		
	> 6		
		Índice SMP	pH Desejado - 5.7
			Ton Calcário/há
		4,4	18,00
		4,5	14,90

	4,6	13,00
	4,7	11,50
	4,8	10,20
	4,9	9,20
	5,0	8,30
	5,1	7,60
	5,2	6,80
	5,3	6,20
Fórmula:	5,4	5,50
Condição para recomendar Calcário	5,5	4,90
pH em água < 5.75	5,6	4,30
	5,7	3,80
	5,8	3,30
	5,9	2,90
	6,0	2,40
	6,1	2,00
	6,2	1,60
	6,3	1,30
	6,4	1,00
	6,5	0,80
	6,6	0,50
	6,7	0,30
	6,8	0,2

- Elaboração dos mapas de fertilidade e de aplicação a taxa variável:

Conforme os resultados obtidos das análises químicas de solo, dos mapas de interpretação e dos níveis de rendimento objetivados foram elaborados os mapas de fertilidade e os mapas de aplicação à taxa variável identificando-se os locais ou zonas a serem manejadas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 EVOLUÇÃO DA FERTILIDADE DO SOLO

Para facilitar a interpretação do comportamento da fertilidade do solo, bem como, entender os rendimentos obtidos nas culturas de grãos é importante conhecer a evolução histórica dos níveis de fertilidade, e busca explicar esta evolução. Assim, conforme a tabela...
Pode-se verificar a evolução da fertilidade do solo da área em estudo:

Tabela 2: Histórico das análises de solo

Gleba / Ano	Argila %	pH H₂O	Índice P SMP	P mg/L	K mg/L	M O %	Al cmol_c/L	Ca cmol_c/L	Mg cmol_c/L	H + Al cmol_c/L	CTC cmol_c/L	Sat Bases %	Prof. Amos. Cm
2 – 1994	51	5,9	6,4	11,0	88	3,2	-0-	-0-	-0-	-0-	-0-	-0-	
2 – 1995	46	5,6	6,0	22,0	89	2,8	0,0	5,7	4,8	1,8	12,5	86	
2 – 1996	65	5,8	6,3	12,0	138	3,4	0,0	5,0	4,0	2,7	12,1	-0-	
2 – 1998	56	5,9	6,0	12,0	230	4,1	0,0	6,8	3,3	3,6	14,3	75	10
2 – 1999	70	5,8	6,0	23,2	152	3,4	0,0	7,8	2,8	3,6	11,0	76	15
2 – 2000	62	5,5	6,0	9,7	150	2,8	0,0	6,1	2,3	3,6	8,8	71	15
2 – 2001	65	5,5	5,9	14,0	200	3,8	0,0	5,9	3,8	3,9	12,5	69	15
2 – 2001	69	5,6	6,1	19,5	198	3,1	0,0	7,2	2,0	3,3	13,0	75	15
2 – 2002	69	5,7	6,2	13,0	190	2,8	0,0	6,8	2,0	3,0	12,3	76	15
2 – 2003	62	5,5		13,0	200	3,0	0,0	7,0	2,2	3,3	13,01	74	15
2 – 2004	62	5,6	5,9	11,5	200	3,6	0,0	8,0	2,7	3,9	11,2	74	15
2 – 2005	59	5,6	6,1	18,0	188	3,3	0,0	6,8	2,2	3,9	9,5	71	15
2 – 2006	65	5,2		21,5	184	3,7	0,2	5,6	1,9	5,5	13,4	59,1	15
2 – 2007	70	5,1	5,9	12,6	280	2,4	0,2	6,3	2,4	4,9	9,6	66	15
2 – 2008	60	5,4	5,8	10,5	236	3,6	0,1	4,7	1,8	5,5	12,6	56,3	15
2 – 2009	62	5,5	6,3	20,8	208	4,0	0,0	6,8	2,5	3,1	9,8	76,0	15
2 – 2010	44	5,7	6,2	25,8	208	4,2	0,0	7,8	2,3	3,5	10,6	75,0	15
2 – 2011	63	5,6	6,0	17,5	200	3,4	0,0	4,6	1,6	4,4	11,1	60,5	15

4.2 HISTÓRICO DAS ADUBAÇÕES NOS CULTIVOS

Tabela 3: Histórico das adubações nos cultivos e rendimento das culturas

Gleba / Ano	Cultura / inverno	Cultura / Verão	Adubação Inverno Form - kg ha ⁻¹	Adubação Verão kg ha ⁻¹	Rendimento Inverno kg ha ⁻¹	Rendimento Verão kg ha ⁻¹
2- 2000/01	Trigo	Soja	05-20-20 320 22-00-00 120	00-14-24 204	2100	3582
2- 2001/02	Trigo	Soja	02-20-30 125 45-00-00 60	02-20-30 125	2604	2406
2- 2002/03	Pousio	Soja	-	00-46-00 220	-	3846
2- 2003/04	Trigo	Soja	05-20-20 20 45-00-00 70	00-46-00 150	3828	2454
2- 2004/05	Trigo	Soja	18-46-00 180 45-00-00 107 29-00-20 120	F.00-14-24 200 00-00-60 25	3456	1200
2- 2005/06	Nabo + ervilhaca	Milho	-	18-46-00 160 29-00-20 107	-	4980
2- 2006/07	Trigo	Soja	05-20-20 250 45-00-00 118	00-30-10 148	420	3000
2- 2007/08	Pousio	Soja	-	-	-	3300
2- 2008/09	Trigo	Soja	05-20-20 136 45-00-00 60	Conf. AP	2820	3918
2- 2009/10	Nabo+ Aveia Ervilhaca	Milho	-	18-46-00 200 29-00-20 130 45-00-00 128	-	7.290
2- 2010/11	Aveia Preta	Soja safrinha	-	-	-	2.100
	Trigo	Soja	18-46-00 125	00-46-00 115	1.200	4.860
2- 2011/12		Soja	05-20-20 200 29-00-20 160	02-23-23 140 Adubo Orgânico 3.500	3.300	Em desenv.

Tabela 4: Teores de N, P(P₂O₅) e K (K₂O) exportados pelos grãos das culturas em kg ton⁻¹ (conforme CQFS, 2004) em área sob agricultura de precisão no Noroeste do RS

Ano	Cult. Inv.	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Cult. Ver.	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
00/01	Trigo	46,2	21	12,6	Soja	214,92	50,15	71,64
01/02	Trigo	57,29	26,04	15,62	Soja	144,36	33,68	48,12
02/03	Pousio	-	-	-	Soja	230,76	53,84	76,92
03/04	Trigo	84,22	38,28	22,97	Soja	147,24	34,36	49,08
04/05	Trigo	76,03	34,56	20,74	Soja	72	16,8	24
05/06	Ad. V	-	-	-	Milho	79,68	39,84	29,88
06/07	Trigo	9,24	4,2	2,52	Soja	180	42	60
07/08	Pousio	-	-	-	Soja	198	46,2	66
08/09	Trigo	62,04	28,2	16,92	Soja	235,08	54,85	78,36
09/10	Ad.V	-	-	-	Milho	116,64	58,32	43,74
10/11	Aveia	18	6	8,40	Soja	291,60	68,04	97,20
11/12	Trigo	72,6	33	19,80	Soja	-	-	-

4.3 BALANÇO NUTRICIONAL DA GLEBA

Os dados representados na tabela referem-se ao fluxo de entrada de nutrientes provenientes das adubações e ao fluxo de saída de nutrientes referentes à exportação dos mesmos pelos grãos colhidos.

Tabela 5: Balanço nutricional/fluxo de entrada e saída de nutrientes

Ano	Adubação			Exportação		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
00/01	42,4	92,56	112,96	261,12	71,15	84,24
01/02	32	50	75	201,65	59,72	63,74
02/03	-	101,2	-	230,76	53,84	76,92
03/04	41,5	109	40	231,46	72,64	72,05
04/05	115,35	110,8	87	148,03	51,36	44,74
05/06	59,83	73,6	21,4	79,68	39,84	29,88
06/07	65,6	94,4	64,8	189,24	46,2	62,52
07/08	-	-	-	198	46,2	66
08/09	33,8	61,7	74,78	297,12	83,05	95,28
09/10	115,35	110,8	87	116,64	58,32	43,74
10/11	147,24	34,36	49,08	309,6	74,04	105,6
11/12	110,5	40	55	72,6	33	19,8
Total	763,57	878,42	667,02	2335,9	689,36	764,51

Com base nos dados da tabela do balanço nutricional pode-se observar que há uma exportação maior do elemento nitrogênio em relação a sua adição, pois a cultura da soja exporta valores elevados deste nutriente. No entanto, a mesma realiza a simbiose com o ambiente, onde as bactérias do tipo Brady rhizobium japonico associadas às raízes das

plantas são capazes de fixar nitrogênio atmosférico suprimindo a necessidade da cultura, não necessitando a suplementação com adubação nitrogenada.

Em relação ao nutriente fósforo pode-se observar que na média dos 12 anos em que se referem os dados há uma adição maior deste elemento em relação a exportação, mas não justifica os níveis encontrados no solo que estão relativamente baixos.

Já o potássio na média destes anos foi exportado em maior quantidade do que os valores adicionados. De modo geral, a área apresenta níveis bastante elevados deste nutriente considerando as adubações realizadas, isto pode ser explicado pelo fato do produtor adotar práticas conservacionistas de solo e principalmente pela ciclagem deste elemento proporcionada pelo cultivo de culturas como o nabo forrageiro e o milho. Também se pode verificar a relação direta do comportamento dos elementos com os níveis de adubação e com os rendimentos obtidos.

4.4 RESULTADOS DAS ANÁLISES QUÍMICAS DE SOLO AP

A tabela a seguir compila os resultados das análises químicas da gleba, dos Grids amostrados:

Tabela 6-A: Resultados das análises químicas de solo AP-2008, Gleba 2

Grid	Argila/ Tex.	CTC Ph 7,0	Ph H ₂ O	SMP	Sat. Bases	P	K	M.O	Al	Ca	Mg
1	57-2	14,7	5,2	6,3	79	31,2	164	3,7	0,1	8,2	3
2	54-2	14,1	5,1	6,2	75	32,3	128	4	0,2	7,2	3,1
3	56-2	13,7	5,3	6,3	77	29	220	3,8	0,1	7,3	2,7
4	57-2	12,4	5,2	6,4	77	17,1	152	3,7	0,1	6,5	2,7
5	38-3	19,7	6	6,8	91	13,5	352	3,7	0	12,2	4,9
6	54-2	13,1	5,6	6,6	83	19,9	236	3,6	0	7,7	2,6
7	62-1	14,1	5,6	6,4	80	19,9	96	3,4	0	7,7	3,4
8	59-2	18,1	6,2	6,7	89	21,8	280	4	0	10,8	4,6

Tabela 6-B: Resultados das análises químicas de solo AP-2011, Gleba 2

Grid	Argila/ Tex.	CTC Ph 7,0	Ph H ₂ O	SMP	Sat. Bases	P	K	M.O	Al	Ca	Mg
1	63-2	14,1	5,7	6,2	75,2	10	352	4,1	0	7,6	2,1
2	61-2	18	5,2	5,4	51,6	14,8	70	4,7	0,2	7,2	1,9
3	61-2	14	5,6	6	68,6	12,4	275	3,9	0	7	1,9
4	60-2	14,3	5,5	6	69,1	27,5	383	4,2	0	6,7	2,2
5	66-2	13,9	5,4	5,8	60,4	11,7	270	3,5	0,1	6,1	1,6
6	57-2	13,6	5,5	6	67,3	15,1	334	3,9	0	6,3	2
7	41-2	18,4	6,4	6,6	88,3	9,5	370	3,1	0	10,9	4,4
8	46-2	19	6,4	6,7	89,3	8	752	4,9	0	11	4,1

4.5 MAPAS DE INTERPRETAÇÃO

Teores de Argila

A figura a seguir representa os níveis de argila.

O mapa se refere aos níveis de argila da gleba, permitindo identificar à textura do solo:

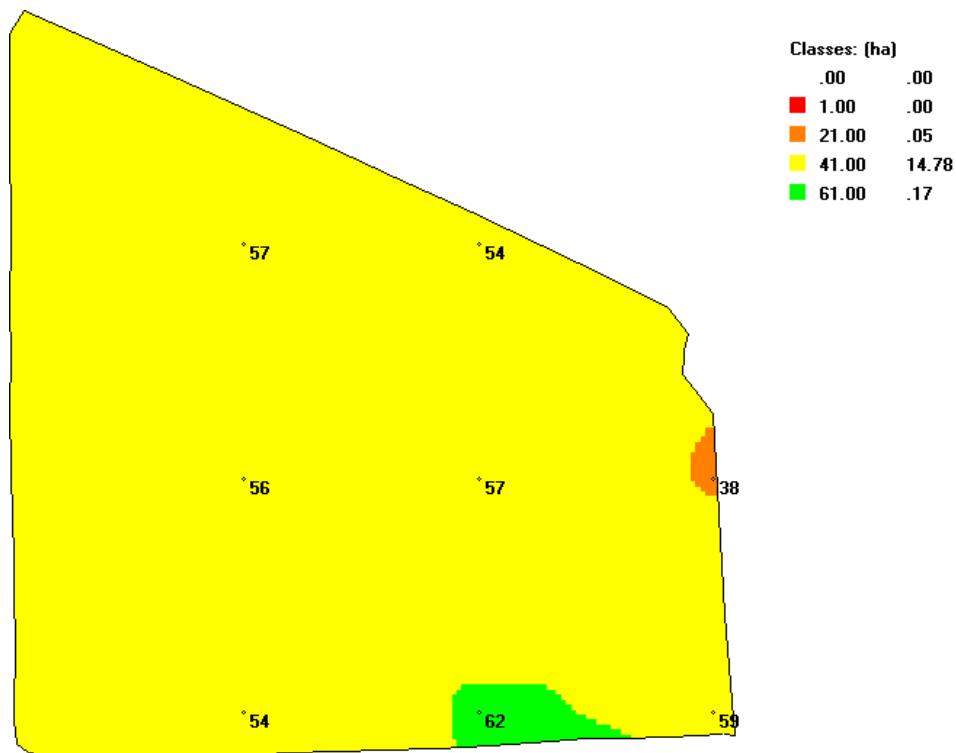


Figura 10-A: Teores de argila 2008, Gleba 2

Fonte: PARC-2008.

Conforme pode-se observar no mapa e com base nas análises de solo a maior porcentagem da área, em torno de 14,78 ha, pertence à classe de textural 2, onde os teores de argila variam entre 41 a 60% nos diferentes grids. Uma pequena parte da área, aproximadamente 0,05 ha, pertence à classe 3, onde os teores de argila variam de 21 a 40%. Uma pequena área, em torno de 0,17 ha pertence à classe 1 por apresentar teores de argila superiores à 61%.

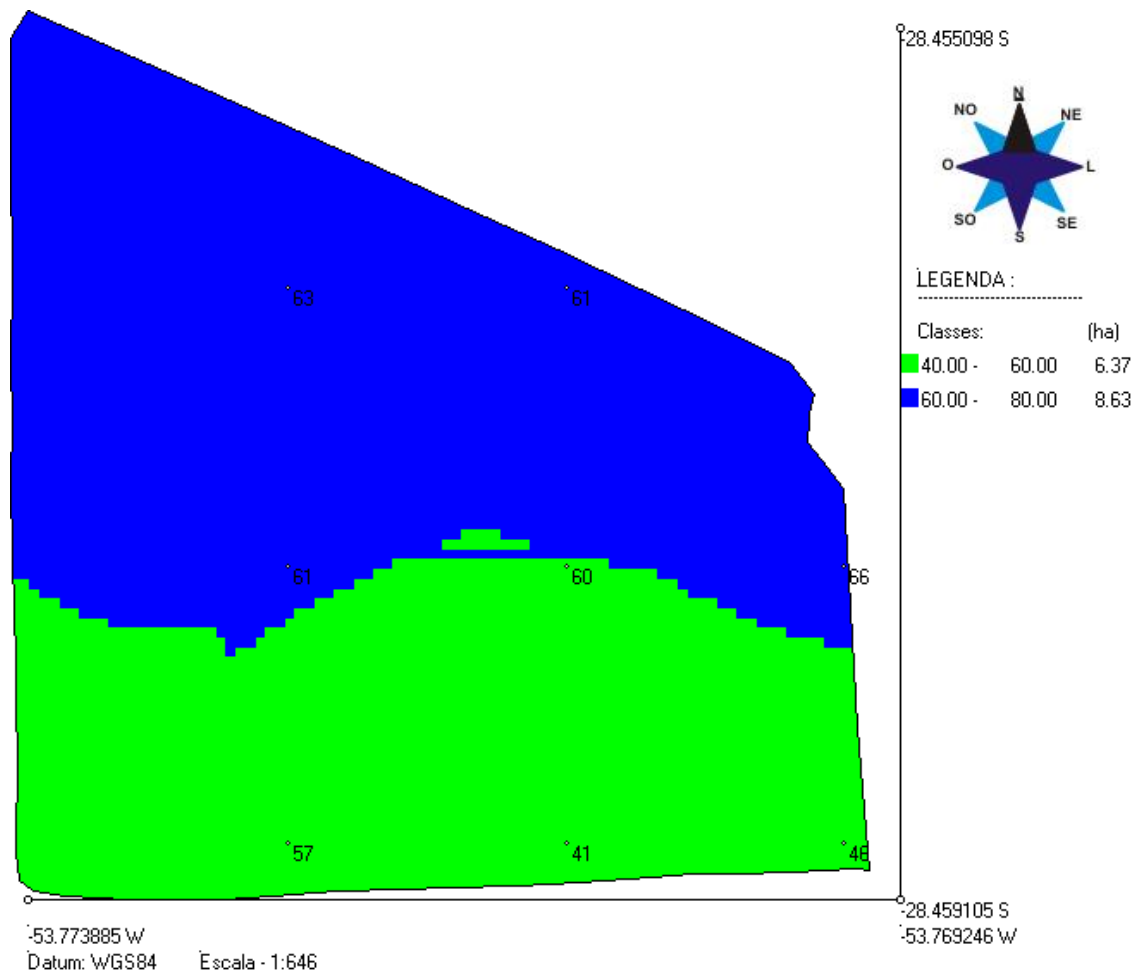


Figura 10-B: Teores de argila 2011, Gleba 2

Fonte: PARC-2011.

Ao compararmos os teores de argila entre os mapas de 2008 e 2011, verifica-se que há uma diferença nos teores de argila. Esta variação se dá em função do método de análise utilizado pelo laboratório, e não por ter aumentado os teores de argila em tão pouco tempo.

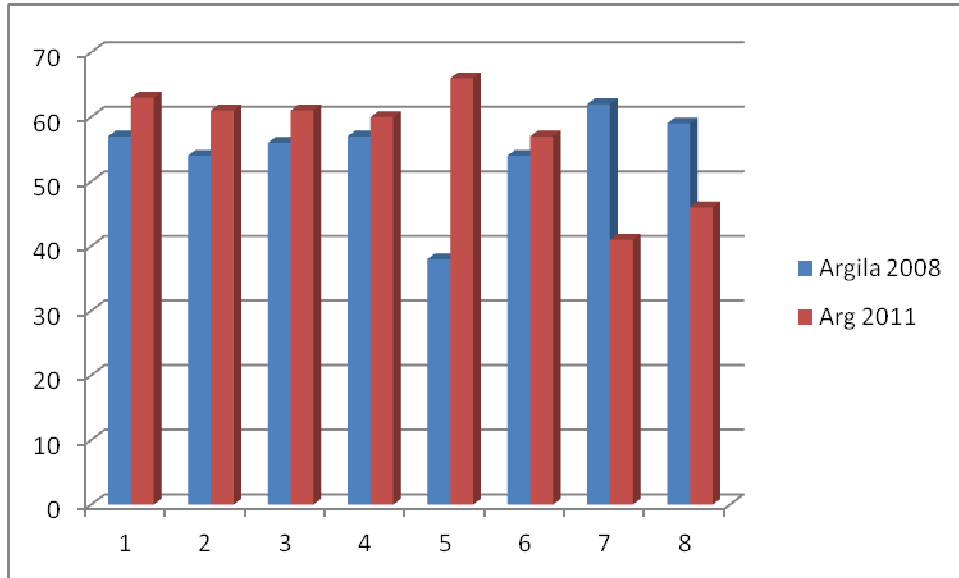


Gráfico 1: Comparativo da argila dos anos de 2008 e 2011

Nos teores de argila houve variação que podem ser atribuídas ao laboratório pois não pode haver variação em pouco tempo na argila.

Níveis de pH do solo:

Representa a distribuição dos níveis que se encontra o pH do solo:

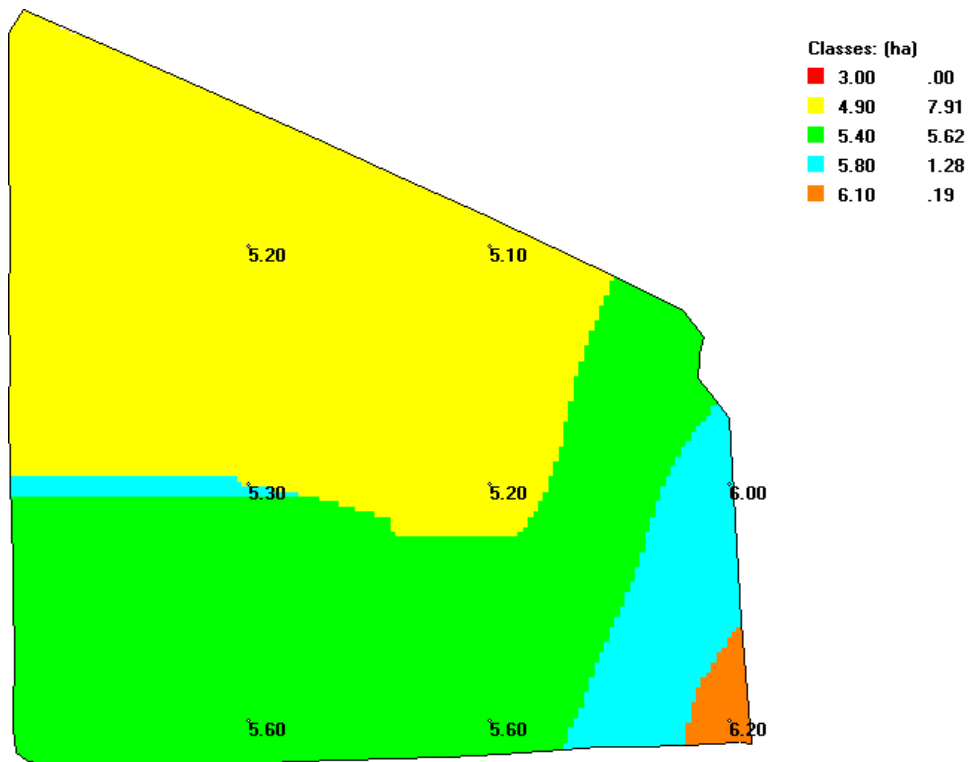


Figura 11-A: Níveis de pH do solo 2008, Gleba 2

Fonte: PARC-2008.

De acordo com e com base nas análises de solo, em torno de 7.91 há encontram-se com o ph entre 4.9 e 5.3 e 5.62 ha encontram-se o com o ph entre 5.4 e 5.7. Estas áreas demonstram a parte da gleba que necessita de correção através da calagem. O restante da área apresenta níveis de ph satisfatórios não necessitando de correção.

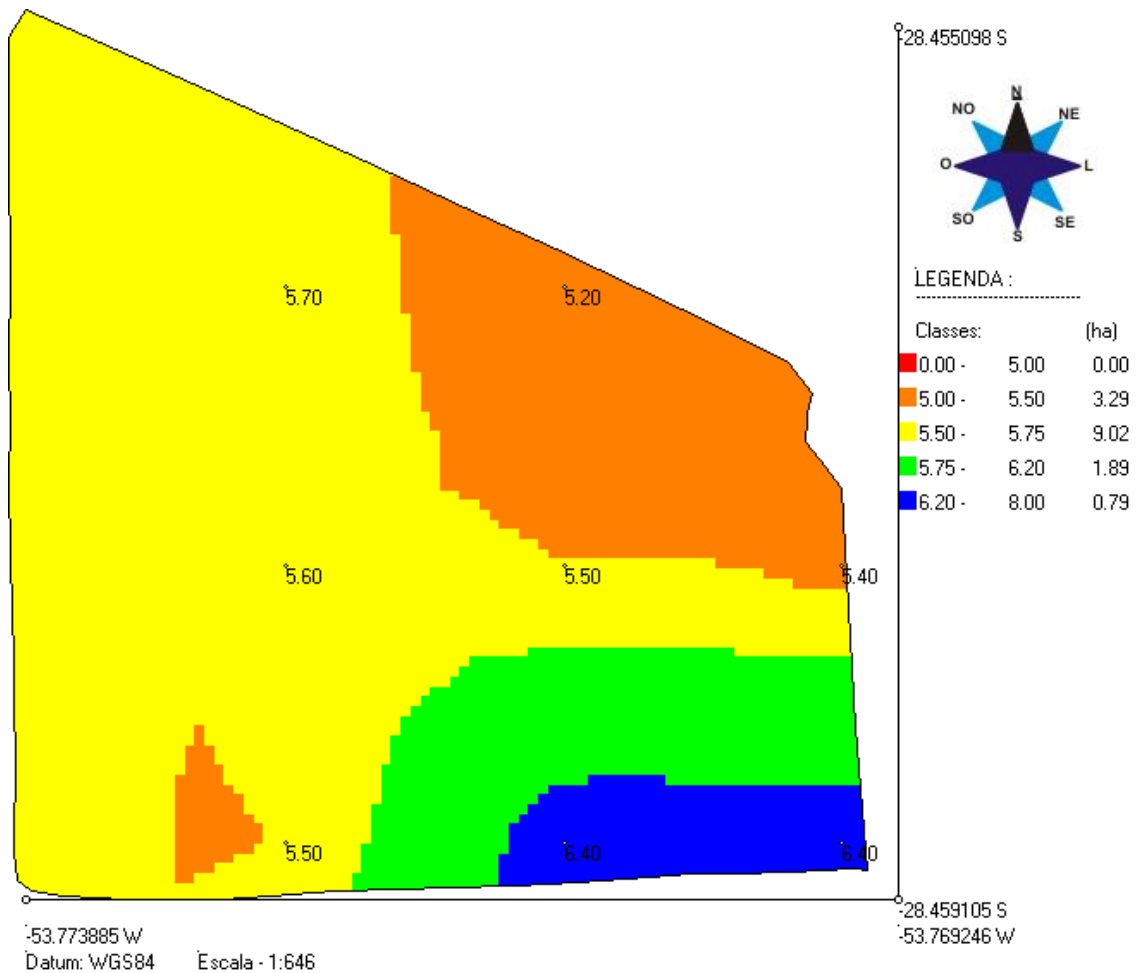


Figura 11-B: Níveis de pH do solo 2011, Gleba 2

Fonte: PARC-2011.

De acordo com a análise uma pequena área de 3.29 ha está com pH entre 5.20 e 5.40, 9.2 há com pH entre 5.50 e 5.75 e o restante da área 10.2 com pH acima de 5.75 e 2.68 há com pH acima de 5.75, portanto não necessitando de calcário.

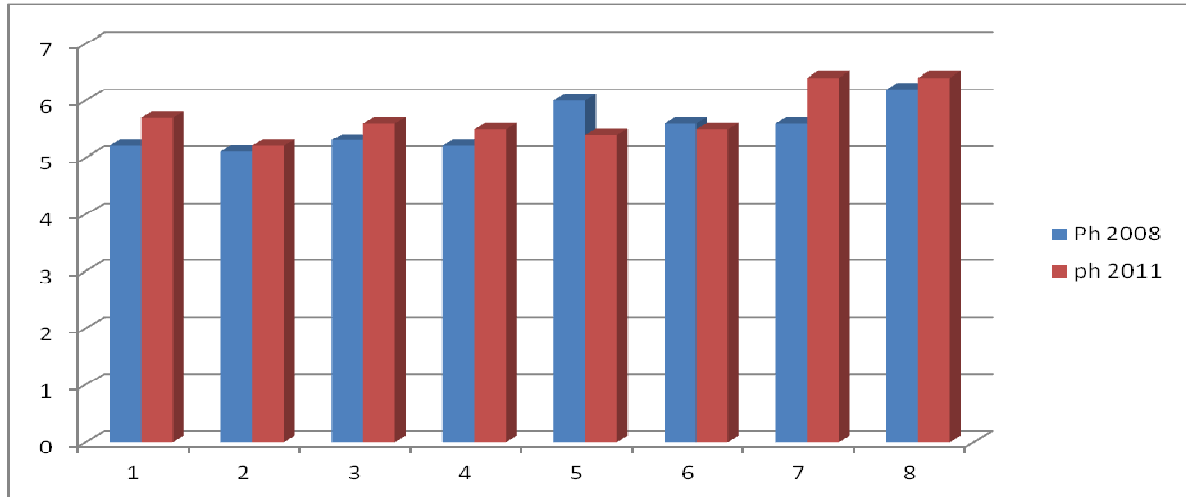


Gráfico 2: Comparativo do pH dos anos de 2008 e 2011

A variação do pH se deve a ter sido ajustado de 5.50 para 5.75 necessitando de correção e aplicação de calcário.

Níveis de Matéria Orgânica no Solo:

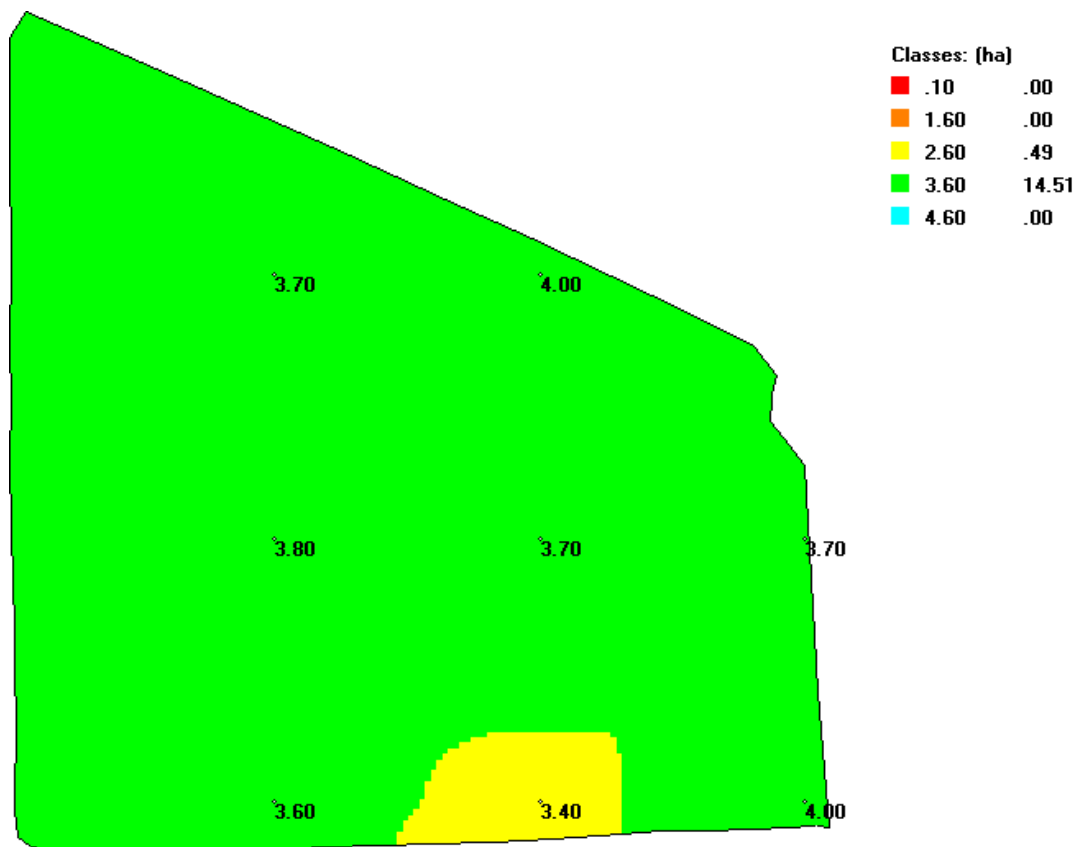


Figura 12-A: Níveis de matéria orgânica no solo 2008, Gleba 2
Fonte: PARC-2008.

A partir da observação do mapa e conforme os resultados das análises de solo grande parte da área em torno de 14.51 hectares apresentam níveis de matéria orgânica na faixa de 3.6 a 4.5%, considerados satisfatórios em relação aos níveis encontrados na região. Uma pequena parte da área, em torno de 0.49 ha, apresenta níveis na faixa de 2.6 a 3.5%.

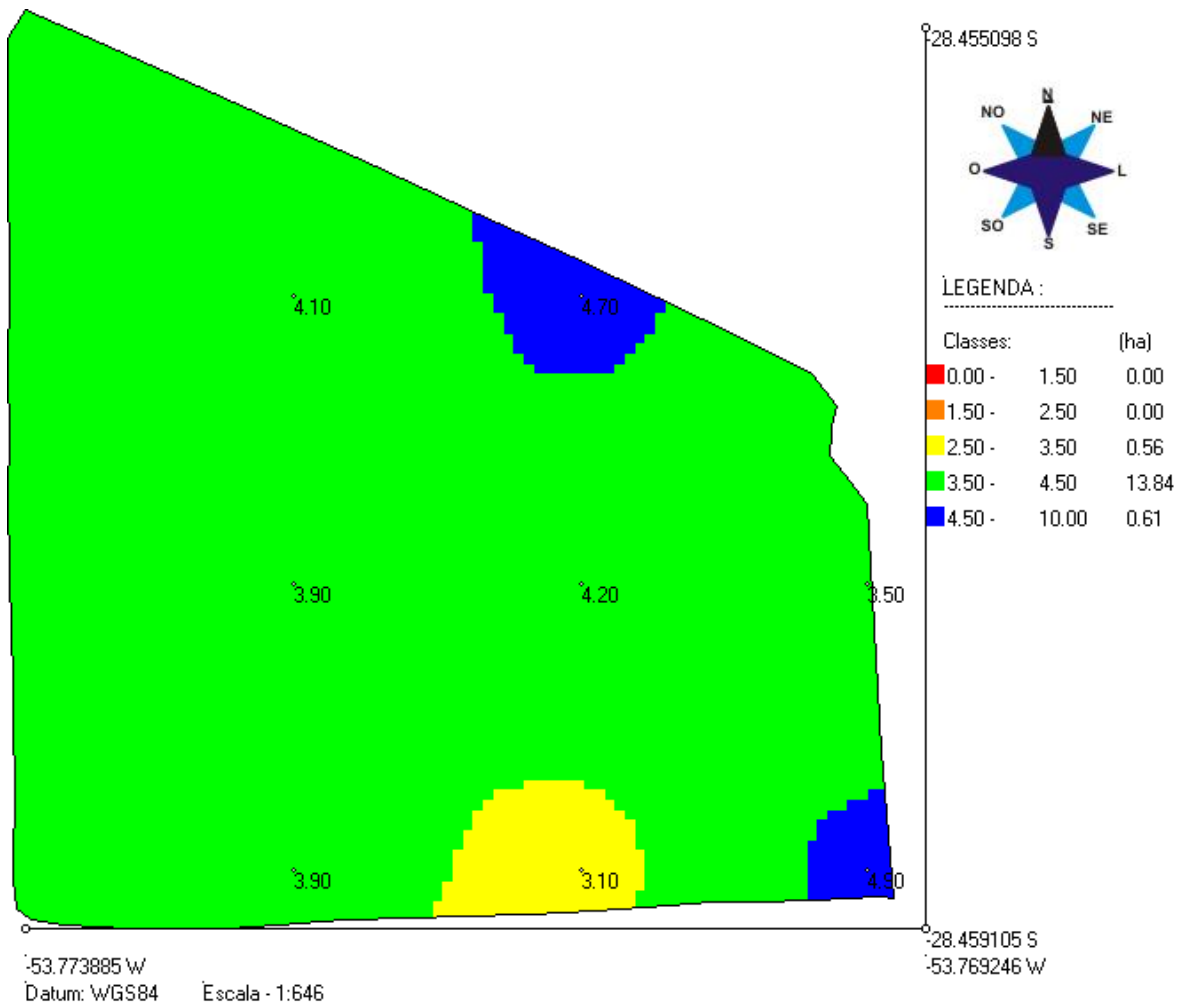


Figura 12-B: Níveis de matéria orgânica no solo 2011, Gleba 2

Fonte: PARC-2011.

Como poder ser visto no mapa a matéria orgânica está com níveis satisfatórios, com pequenas variações quando comparada com os níveis de MO encontrados em 2008.

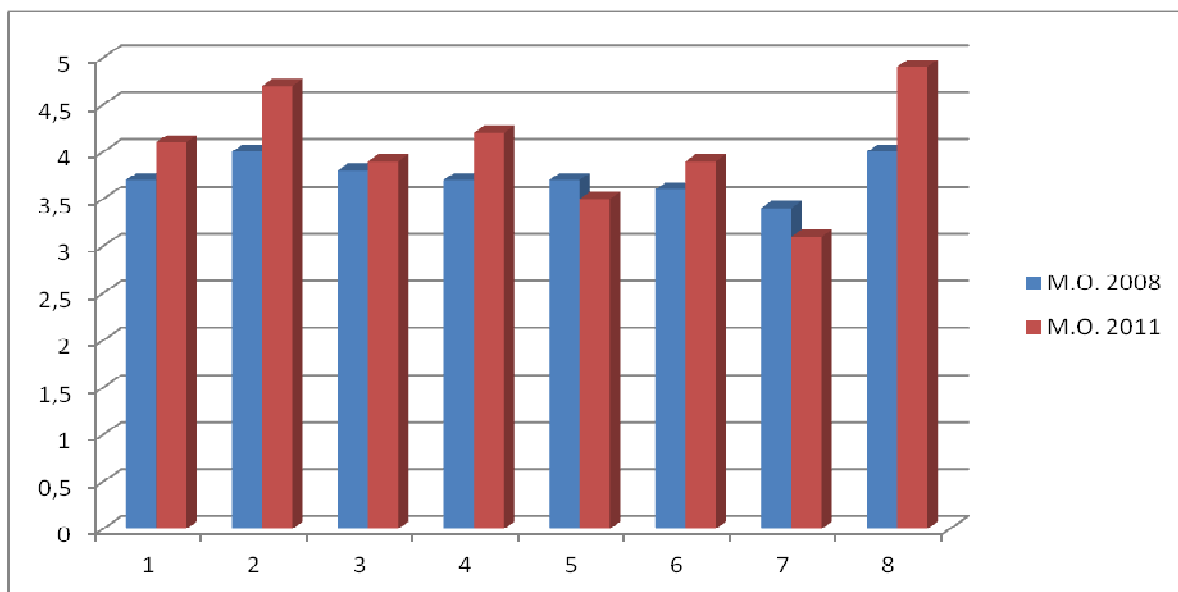


Gráfico 3: Comparativo da MO dos anos de 2008 e 2011

A matéria orgânica está com níveis satisfatórios comparada com as médias regionais, havendo pequenas variações comparadas com os níveis de 2008.

Teores de Cálcio da Gleba

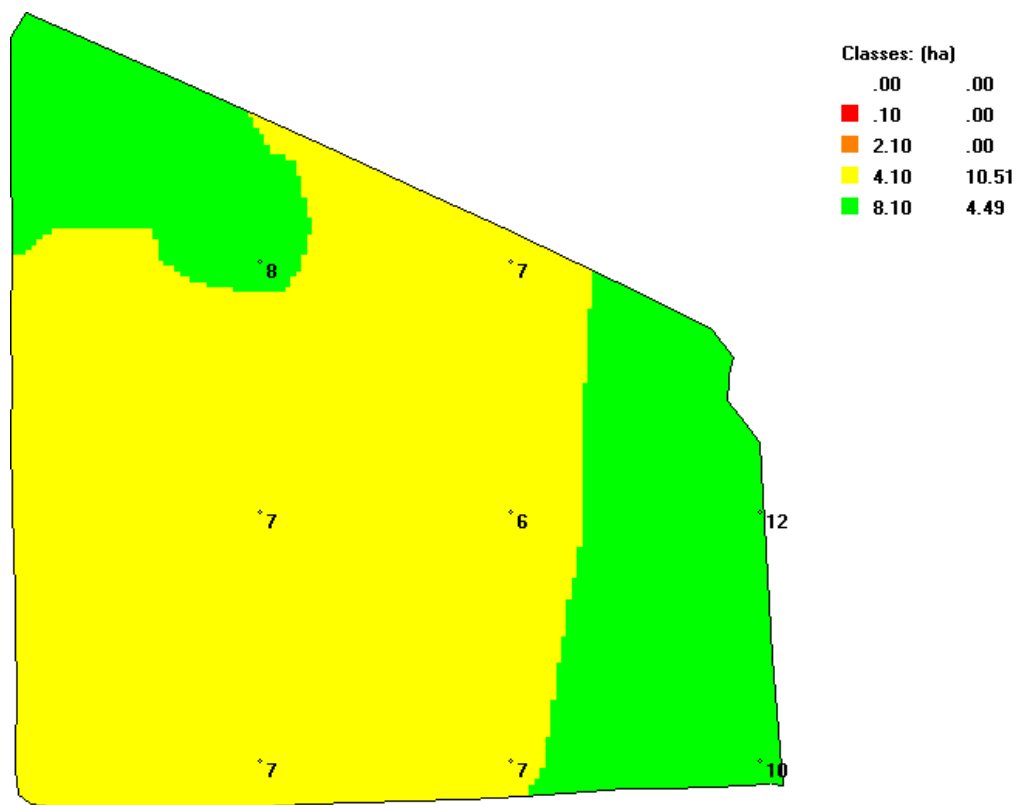


Figura 13-A: Teores de cálcio 2008, Gleba 2

Fonte: PARC-2008.

Conforme observação do mapa e a partir dos valores obtidos nas amostras de solo, em torno de 10.51 ha apresenta níveis de cálcio de 4.1 a 8.0 cmolc/dm^{-3} , e 4.49 ha apresenta níveis de cálcio acima 8.1 cmolc/dm^{-3} , que são considerados valores altos para o elemento.

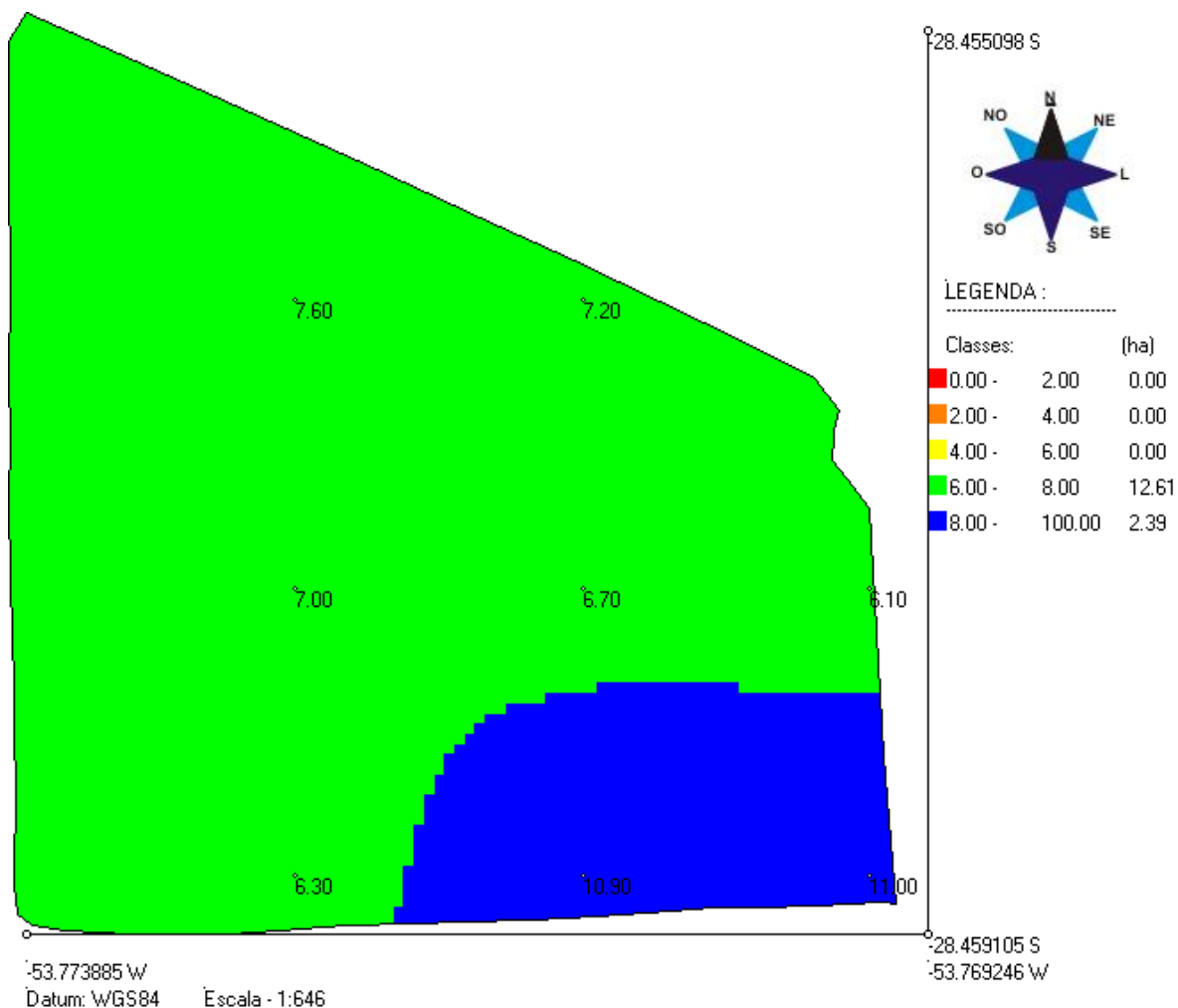


Figura 13-B: Teores de cálcio 2011, Gleba 2
 Fonte: PARC-2011.

Todos os pontos de Cálcio estão com níveis alto deste elemento, ou seja acima de 6.1 cmolc/dm^{-3} .

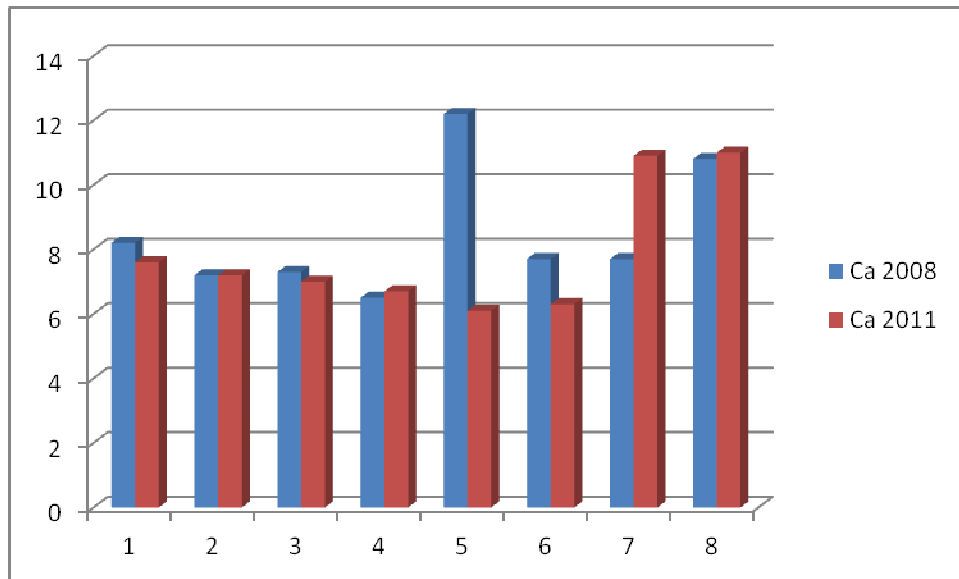


Gráfico 4: Comparativo do cálcio dos anos de 2008 e 2011

Todos os pontos estão com níveis alto deste elemento, onde não foi realizado correção deste elemento.

Níveis de Magnésio no solo

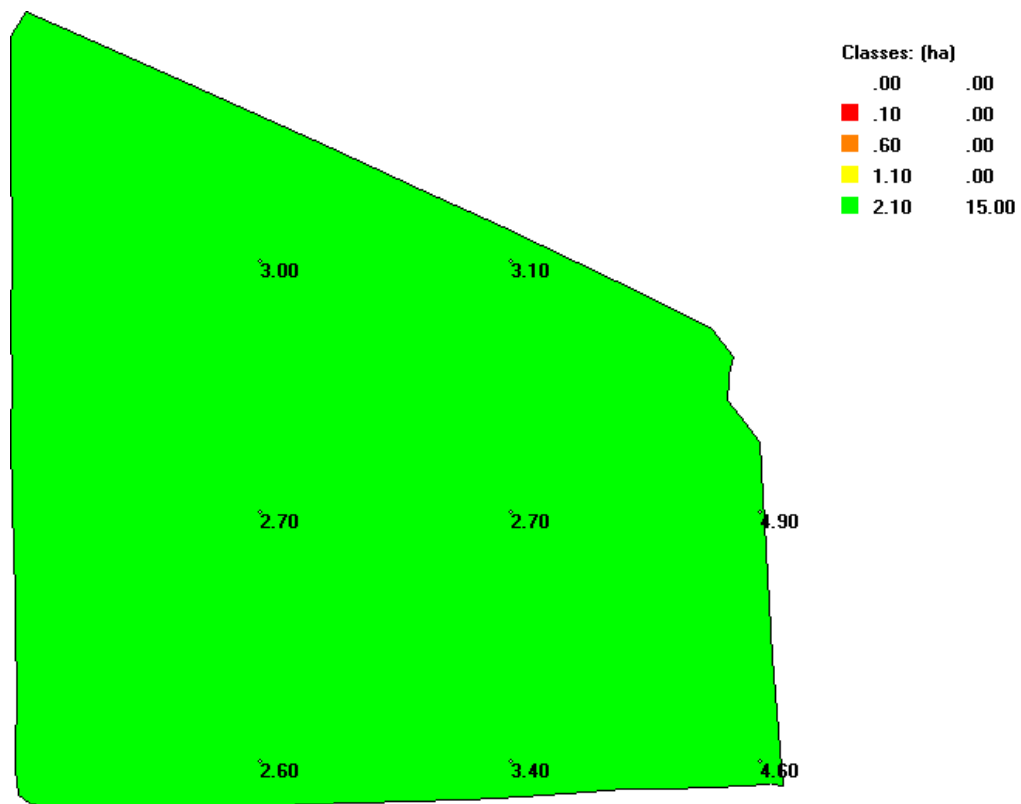


Figura 14-A: Níveis de magnésio no solo 2008, Gleba 2

Fonte: PARC-2008.

Os níveis de magnésio encontram-se altos em todos os grids da área apresentando acima de 2.1cmolc dm-3.

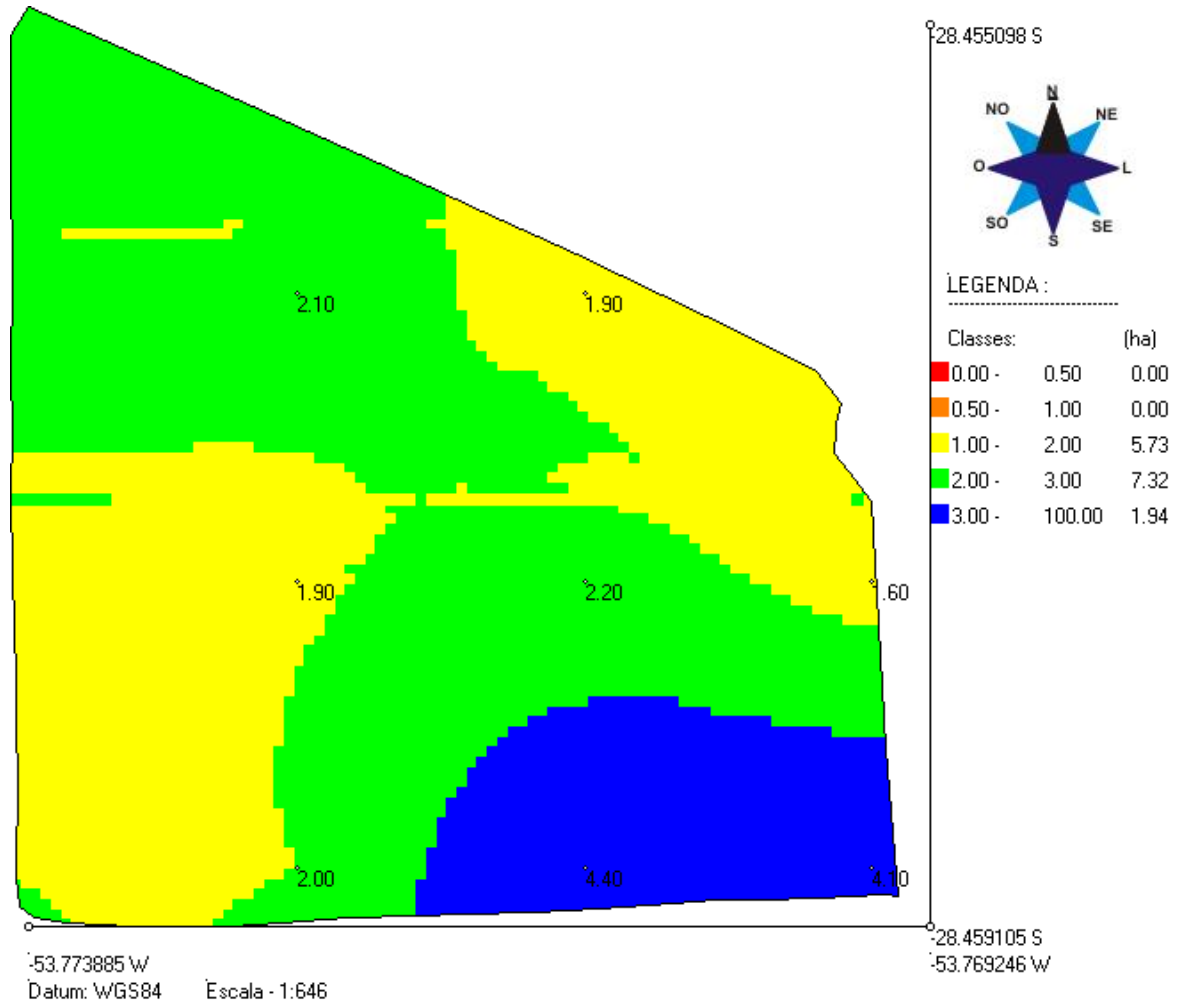


Figura 14-B: Níveis de magnésio no solo 2011, Gleba 2

Fonte: PARC-2011.

Os níveis variam de 1.6 a 1.9 cmolc dm-3 em uma área de 2.16ha, de 2.0 a 2.20 numa área de 7.32 há, níveis acima de 4.10 nos restantes 1.94 ha.

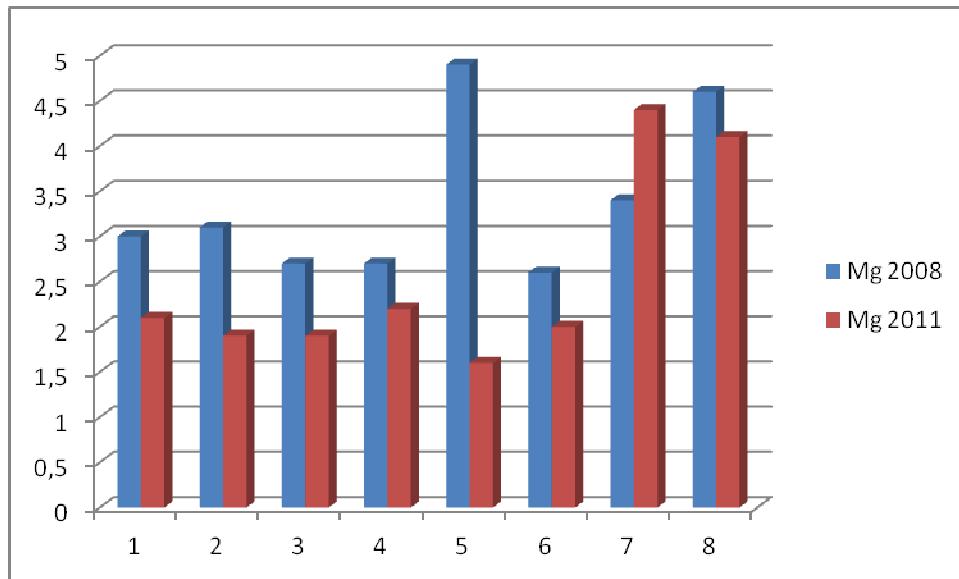


Gráfico 5: Comparativo do magnésio dos anos de 2008 e 2011

O magnésio encontra-se em níveis satisfatórios onde não foi realizado correção.

Níveis de Potássio no solo

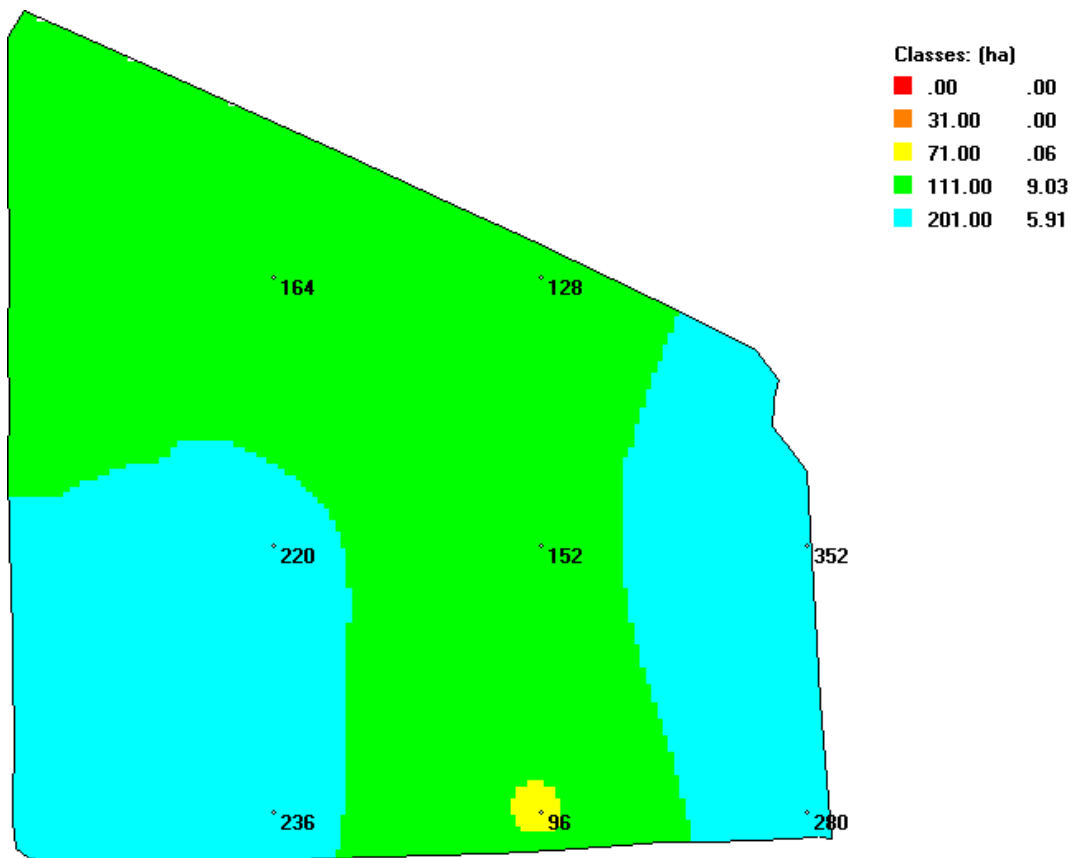


Figura 15-A: Níveis de potássio no solo 2008, Gleba 2

Fonte: PARC-2008.

Com base nas análises de solo e a partir da observação do mapa em torno de 0.6 ha, ou seja, uma pequena parcela da área apresenta níveis de potássio de 96 mg dm⁻³. Outra parte, em torno 9.03 ha, encontra-se com os níveis do elemento na faixa de 128 a 164 mg dm⁻³, representando a maior porcentagem da área. O restante da área, aproximadamente 5.91 há, encontra-se com níveis de potássio bastante elevados, acima de 220 mg dm⁻³, não necessitando qualquer tipo de correção.

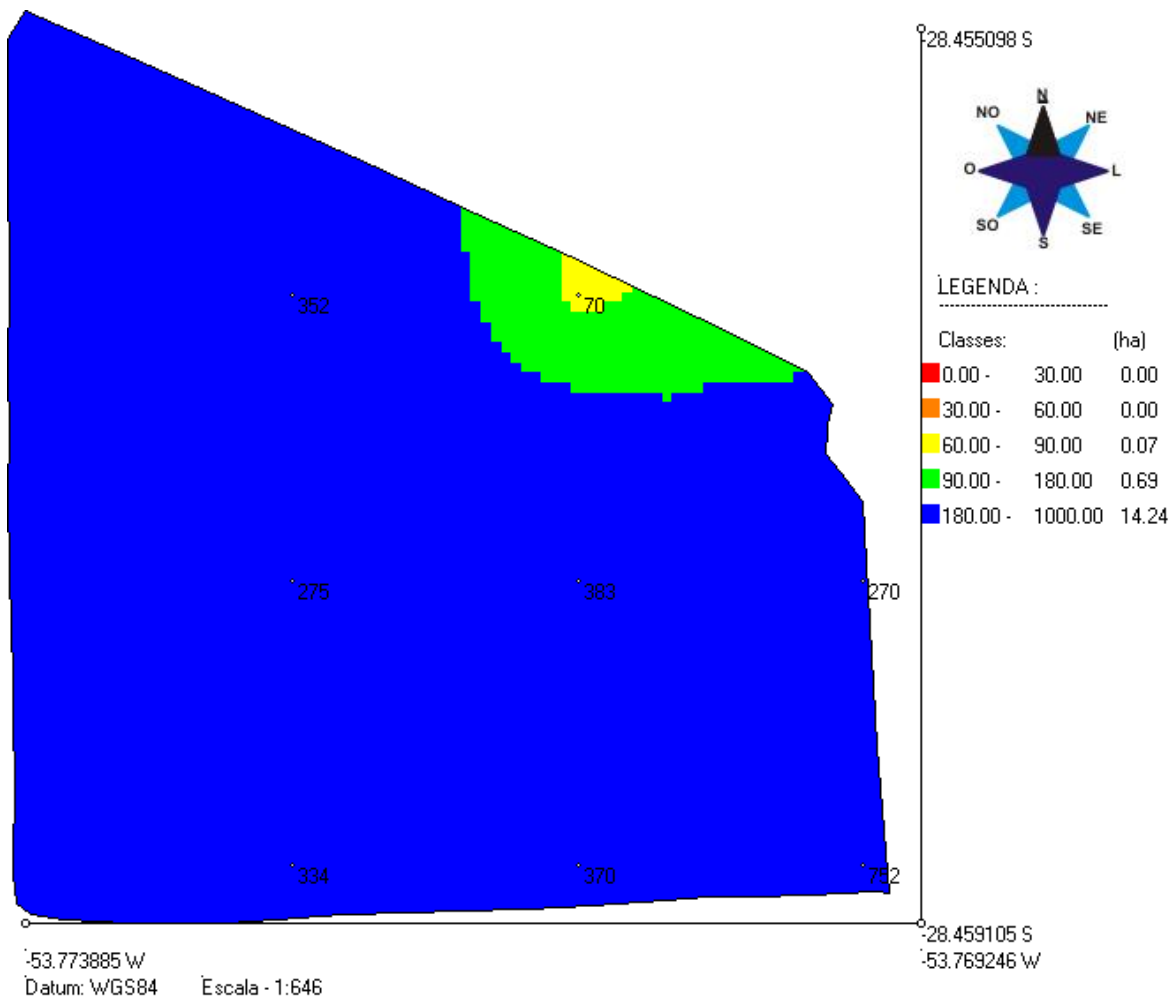


Figura 15-B: Níveis de potássio no solo 2011, Gleba 2

Fonte: PARC-2011.

Grande parte da área está com níveis entre 270 e 752 mg/dm⁻³ que totaliza 14.24 haa e os restantes 0.76 ha estão com níveis abaixo de 90 mg/dm⁻³ necessitando de correção de potássio somente nesta pequena área. Comparando os dois mapas do elemento Potássio, verifica-se que houve uma melhoria deste nutriente nos últimos 3 anos, evidenciando que a aplicação a taxa variável melhorou os níveis de potássio.

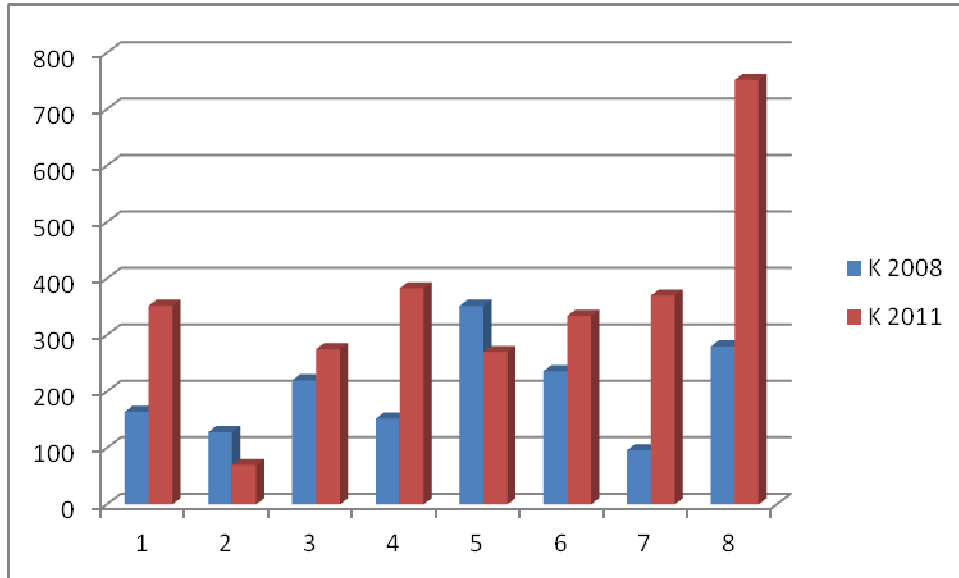


Gráfico 6: Comparativo do potássio dos anos de 2008 e 2011

Comparando os dois anos o elemento potássio, verifica-se que houve melhoria evidenciando que a aplicação a taxa variável melhorou os níveis de potássio.

Níveis de Fósforo no solo

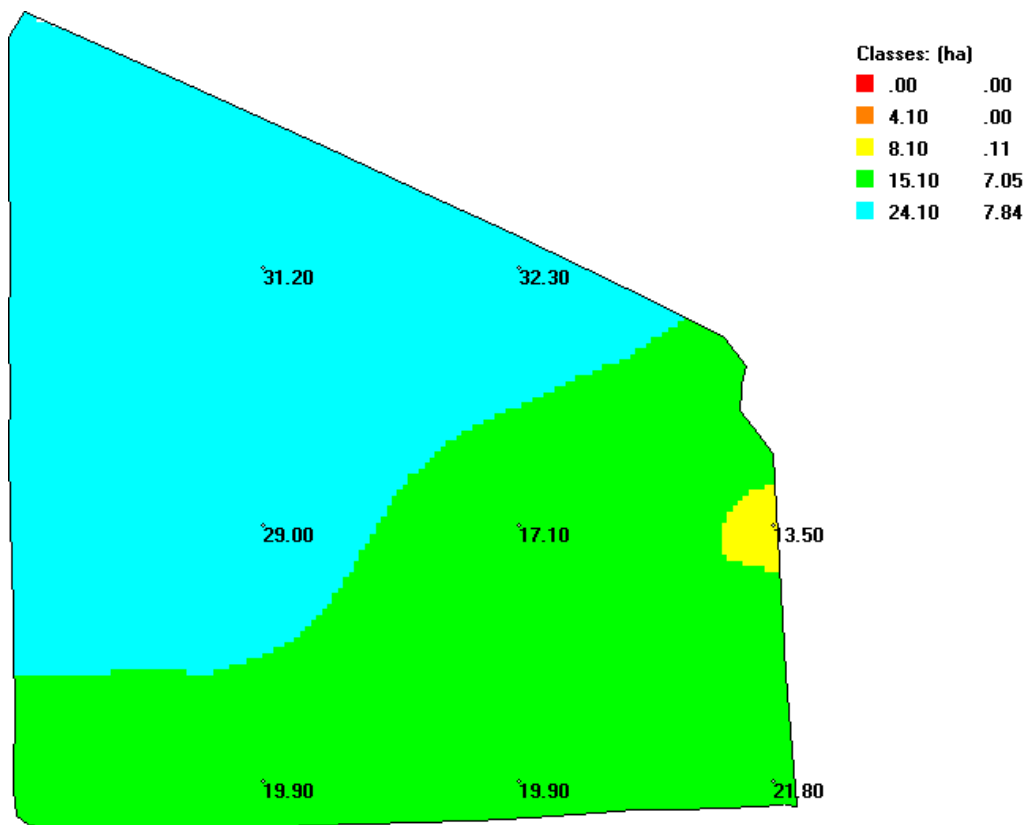


Figura 16-A: Níveis de fósforo no solo 2008, Gleba 2

Fonte: PARC-2008.

A partir das análises de solo e conforme interpretação e elaboração dos mapas em torno de 0.11 ha apresentam níveis de fósforo de 13.50 mg dm⁻³ representando uma pequena parcela da área, coincidindo com o grid que apresenta menor percentual de argila. Outra parte da área, em torno de 7.05 ha, encontra-se com os níveis do elemento na faixa de 17.10 a 21.80 mg dm⁻³ e o maior percentual da área, aproximadamente 7.84 ha, apresenta níveis superiores a 29.00 mg dm⁻³, sendo considerados valores bastante elevados, não necessitando qualquer tipo de correção ou adição nestas partes da gleba.

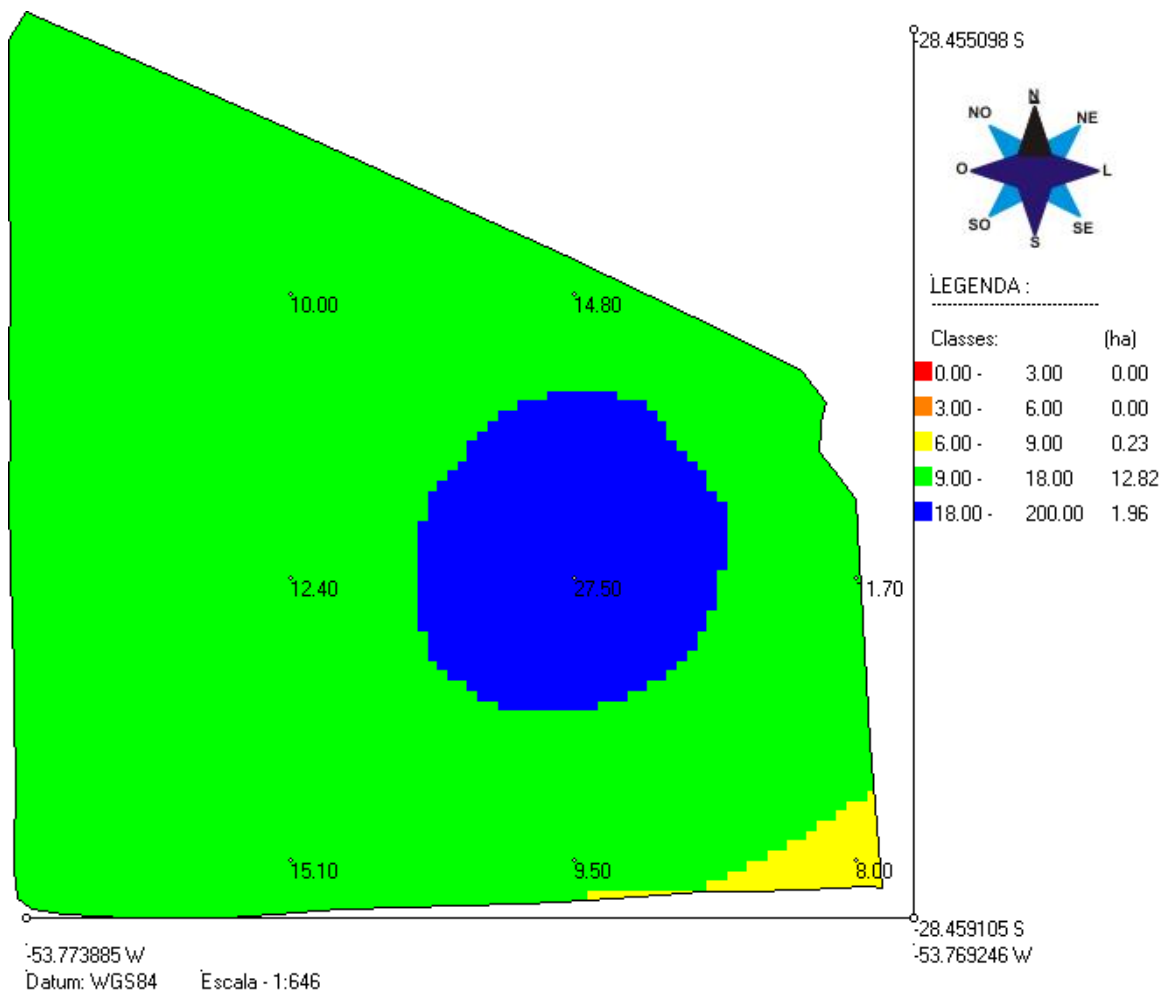


Figura 16-B: Níveis de fósforo no solo 2011, Gleba 2

Fonte: PARC-2011.

Uma pequena área de 0.23 ha está com nível de 8.00 mg/dm⁻³, uma área de 12.82 há com níveis entre 9.50 e 14.80 mg/dm⁻³, e 1.96 há com níveis de fósforo acima de 27.50 mg/dm⁻³.

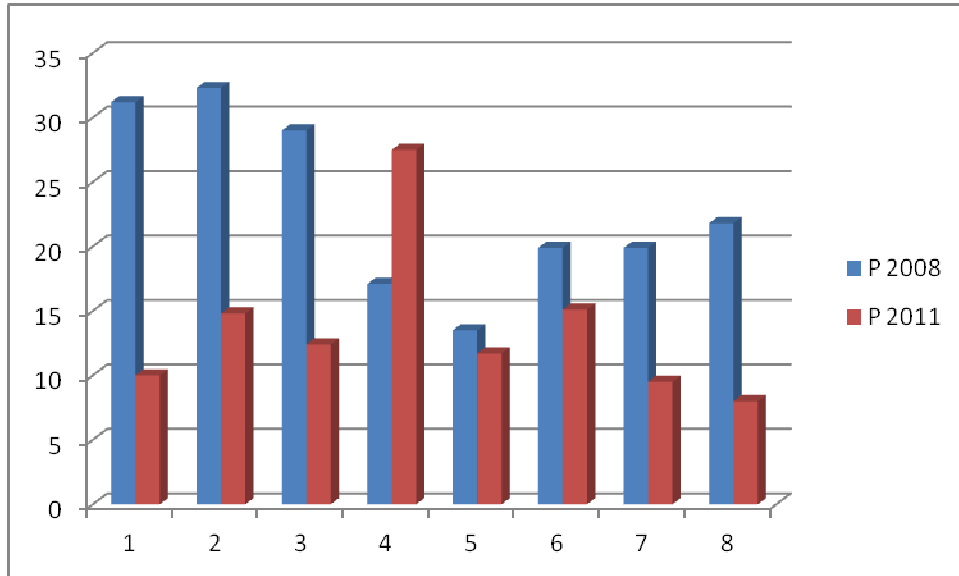


Gráfico 7: Comparativo do fósforo dos anos de 2008 e 2011

Como pode ser visto no gráfico o elemento fósforo foi o que teve maior redução dos níveis, podendo ser pelo fósforo ser um elemento de pouca mobilidade no solo ou por ter ocorrido um escoamento superficial se tratando de um terreno ondulado.

4.6 MAPAS DE APLICAÇÃO A TAXA VARIÁVEL

A partir dos resultados das análises de solo, dos critérios de interpretação e dos mapas de interpretação foram elaborados os mapas de aplicação com suas referidas quantidades de corretivos a serem utilizadas.

Mapa de aplicação de calcário para correção do ph:

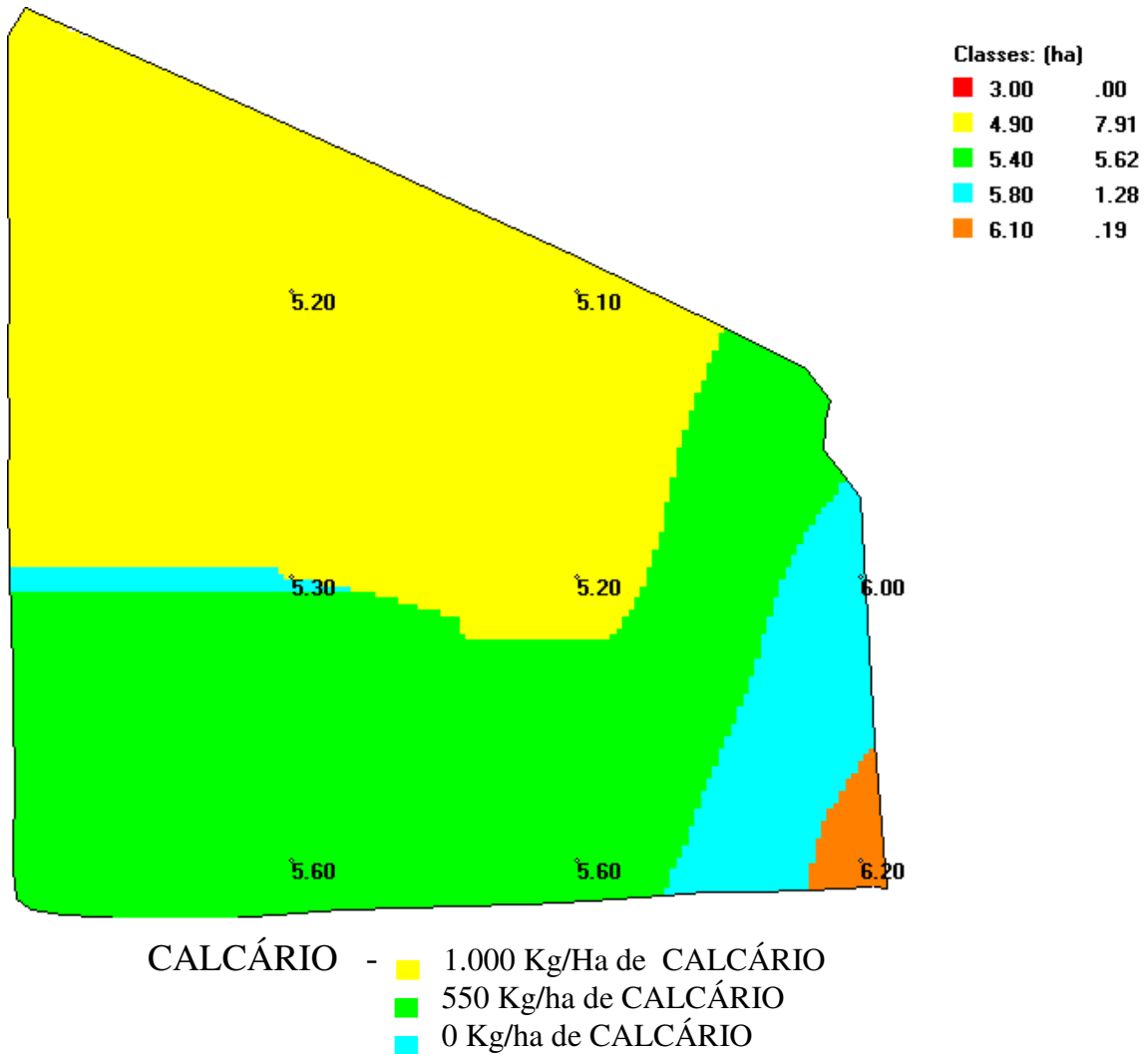


Figura 17-A: Mapa de aplicação de calcário 2008, Gleba 2
 Fonte: PARC-2008.

De acordo com o mapa de interpretação e com base nas análises de solo elaborou-se o mapa de aplicação que demonstra os locais dentro da área que necessita correção. Desta forma, em torno de 7.91 ha e 5.62 ha que se encontram com o pH no intervalo entre 4.9 e 5.3 e 5.4 e 5.7 respectivamente, necessitam de correção com calcário, conforme índice SMP das áreas objetivando elevar o pH para 5.75; considerando-se um PRNT de 70% , necessita-se em torno de 1000kg por hectare e 550kg por hectare de calcário, respectivamente.

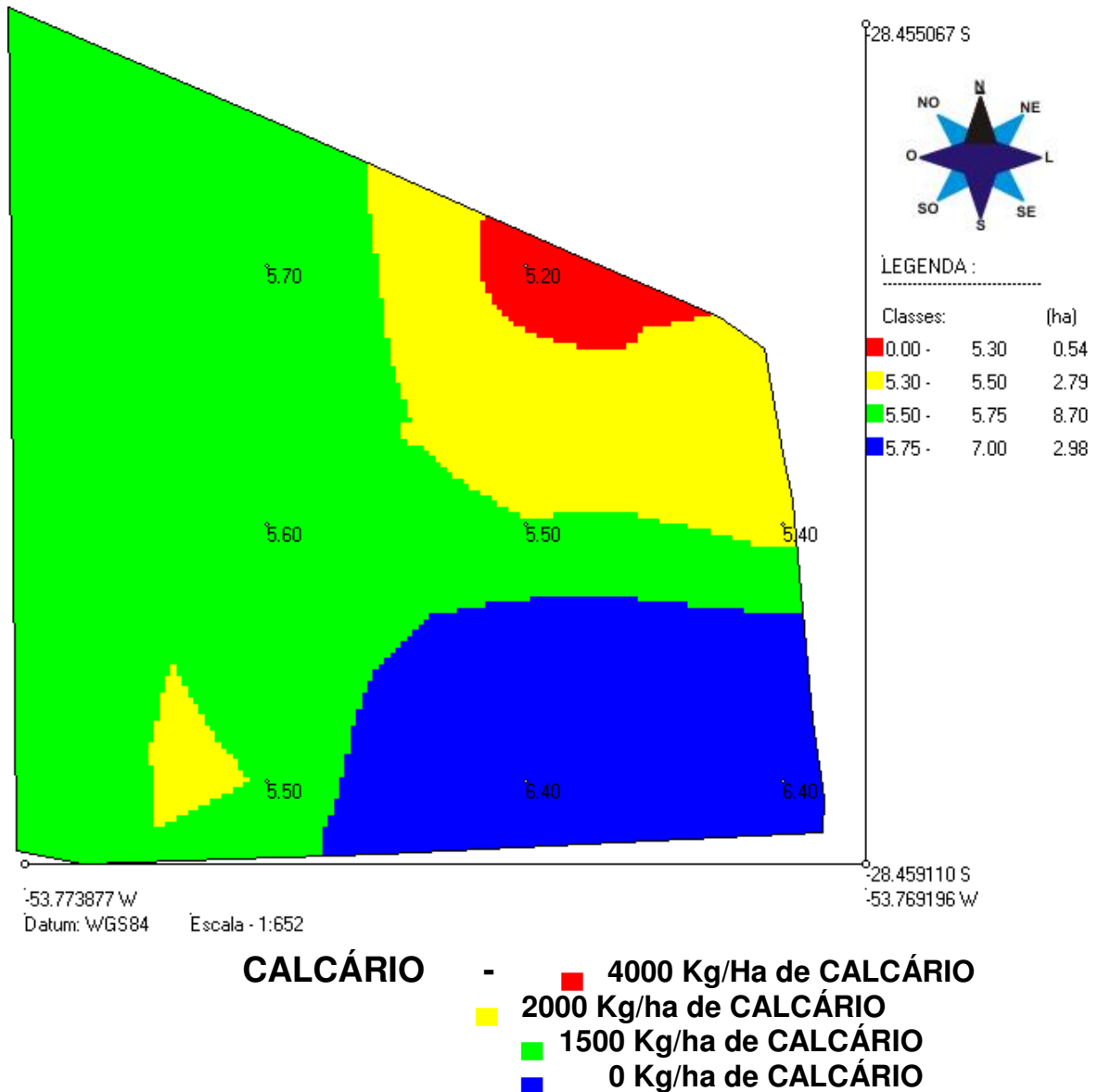


Figura 17-B: Mapa de aplicação de calcário 2011, Gleba 2
Fonte: PARC-2011.

Ao compararmos a recomendação de correção do pH, nos mapas de aplicação de 2008 e 2011, observa-se que houve uma melhoria nos índices de pH da área e a necessidade de calcário aumentou, em função de haver sido reajustada, as normas para a aplicação do calcário de pH mínimo de 5.50 passou para 5.75, portanto, embora os níveis de pH tenham melhorado, conforme a sugestão de adubação e calagem fornecida pela CCGL-Pesquisa, há uma necessidade maior de calcário para atingir níveis altos de produtividade.

Mapa de aplicação de cloreto de potássio:

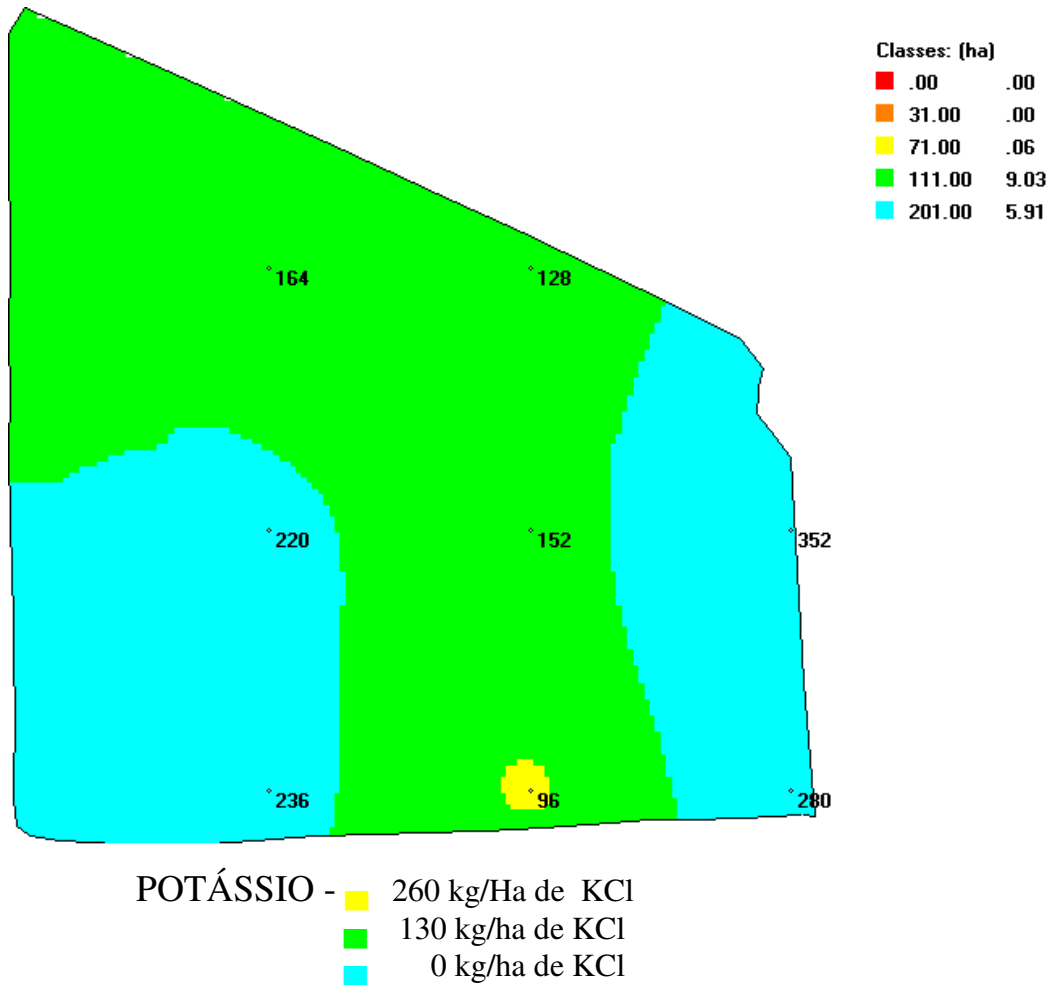


Figura 18-A: Mapa de aplicação de cloreto de potássio 2008, Gleba 2
 Fonte: PARC-2008.

Conforme os resultados das análises de solo, representados dos mapas, foram elaborados os mapas de aplicação para correção dos níveis de potássio através do corretivo KCl. Assim, em torno de 0.6 há e 9.03 há, que se encontram com os níveis de potássio no intervalo de 71 a 110 mg dm⁻³ e de 111 a 200 mg dm⁻³ necessitam de 260 kg ha⁻¹ e 130 kg ha⁻¹ de KCl, respectivamente. Chegou-se a essas quantidades, pois a área apresenta uma CTC ph 7.0 >15, e acordo com programa, procura-se elevar os níveis de potássio para 260 mg dm⁻³, considerado muito alto. Obtiveram-se estes valores a partir da seguinte fórmula:

Fórmula para o K.

kg /KCl

1 há⁻¹ (CTC >15,0) = ((Nível à atingir (-) Média do intervalo) x 1.2) / 0.6

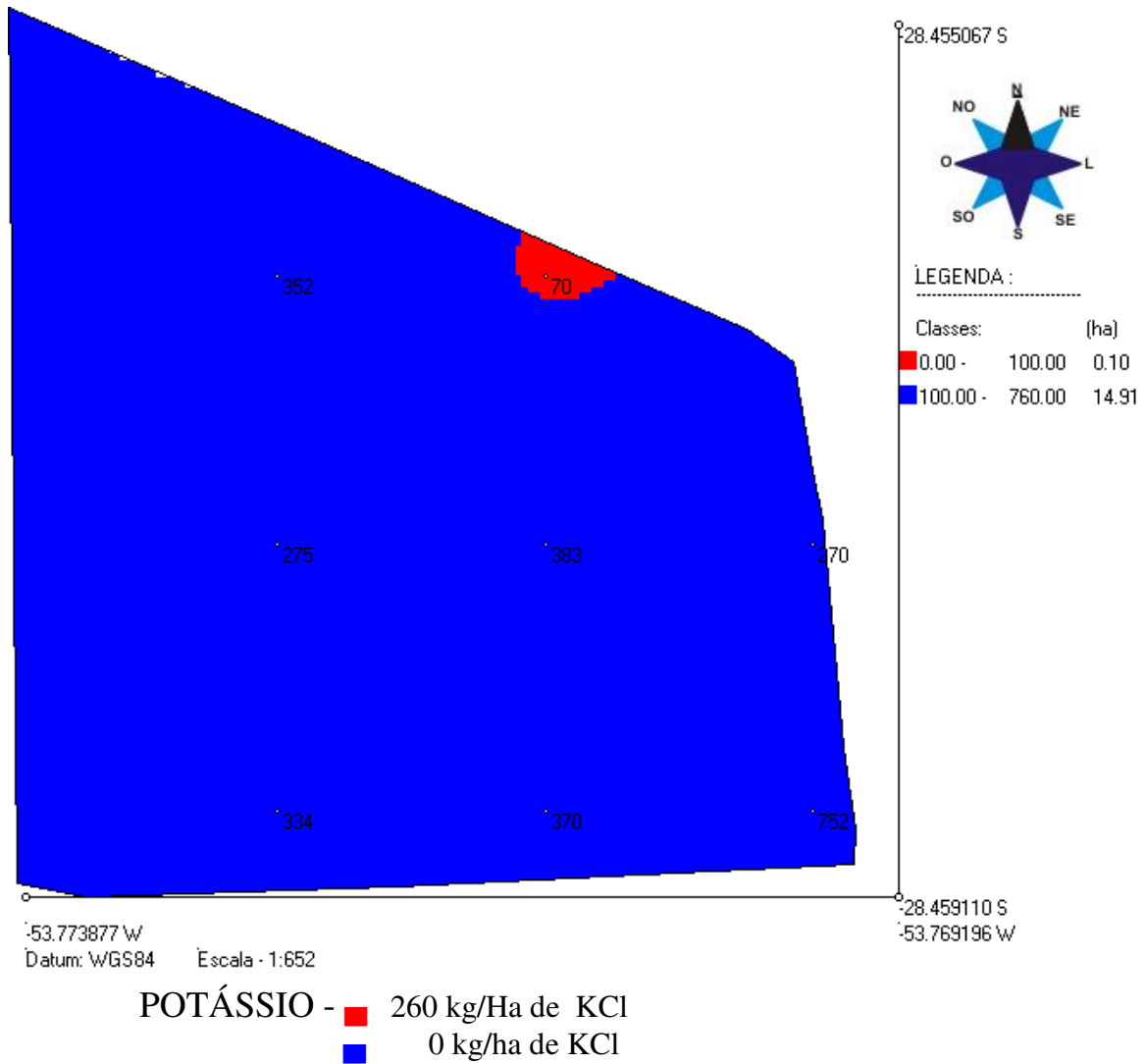


Figura 18-B: Mapa de aplicação de cloreto de potássio 2011, Gleba 2
Fonte: PARC-2011.

Conforme os resultados das análises de solo, do ano 2011 e do balanço nutricional das culturas, observa-se que mesmo tendo um balanço negativo das entradas e saídas de potássio, na gleba 2, ocorreu uma melhora significativa dos níveis deste elemento no solo. Acredita-se, que esta melhora ocorreu em função do produtor adotar sistema de rotação de culturas que proporcionam alta ciclagem de potássio. Pode-se observar no mapa de aplicação de potássio que somente uma pequena área de 0.10 há necessitam de correção deste elemento, o que pode ser inclusive uma falha na amostragem do solo ou erro de laboratório.

Mapa de aplicação do super fosfato triplo para correção de fósforo:

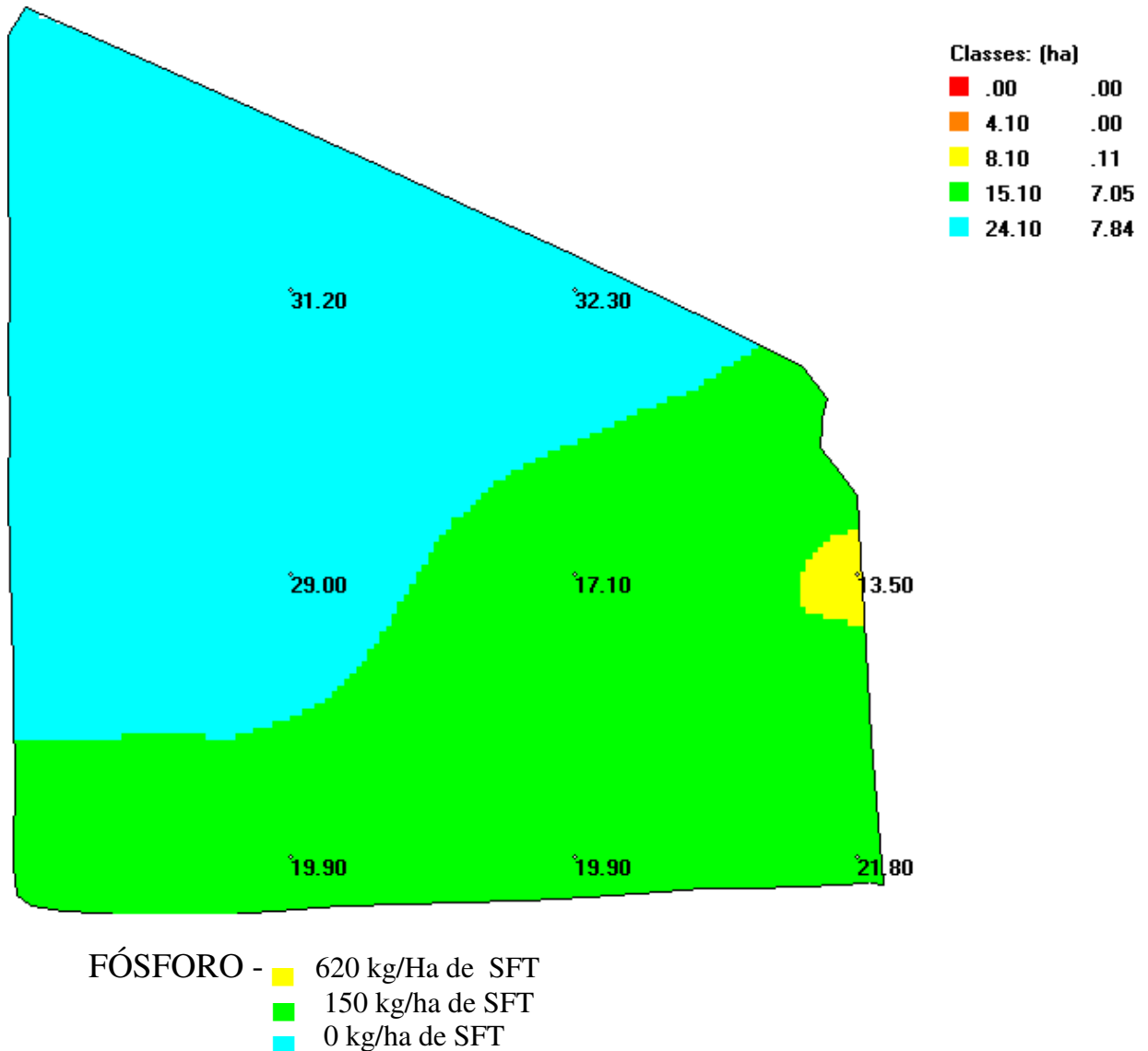


Figura 19-A: Mapa de aplicação do super fosfato triplo 2008

Fonte: PARC-2008.

A partir dos resultados das análises de solo, dos critérios de interpretação e dos mapas de interpretação foram elaborados os mapas de aplicação para a correção dos níveis de fósforo com a utilização de super fosfato triplo. Desta forma, em torno de 0.11 ha e 7.05 ha que apresentam níveis abaixo, necessitam de aproximadamente 620 kg ha⁻¹ e 150 kg ha⁻¹ de SFT, respectivamente. Estes valores foram obtidos observando a classe do solo, onde na classe 1 procura-se elevar os níveis acima de 18 mg dm⁻³; na classe 2, para 24 mg dm⁻³ e na classe 3, para 42 mg dm⁻³, assim, foram obtidos os valores a serem aplicados partir da seguinte fórmula:

Fórmula para o P

$$\text{kg/SFT/há Classe 1} = ((\text{Nível à atingir} - \text{Média do intervalo}) \times 20) / 0.46$$

Classe 2 Multiplica por 15; Classe 3 multiplica por 10;

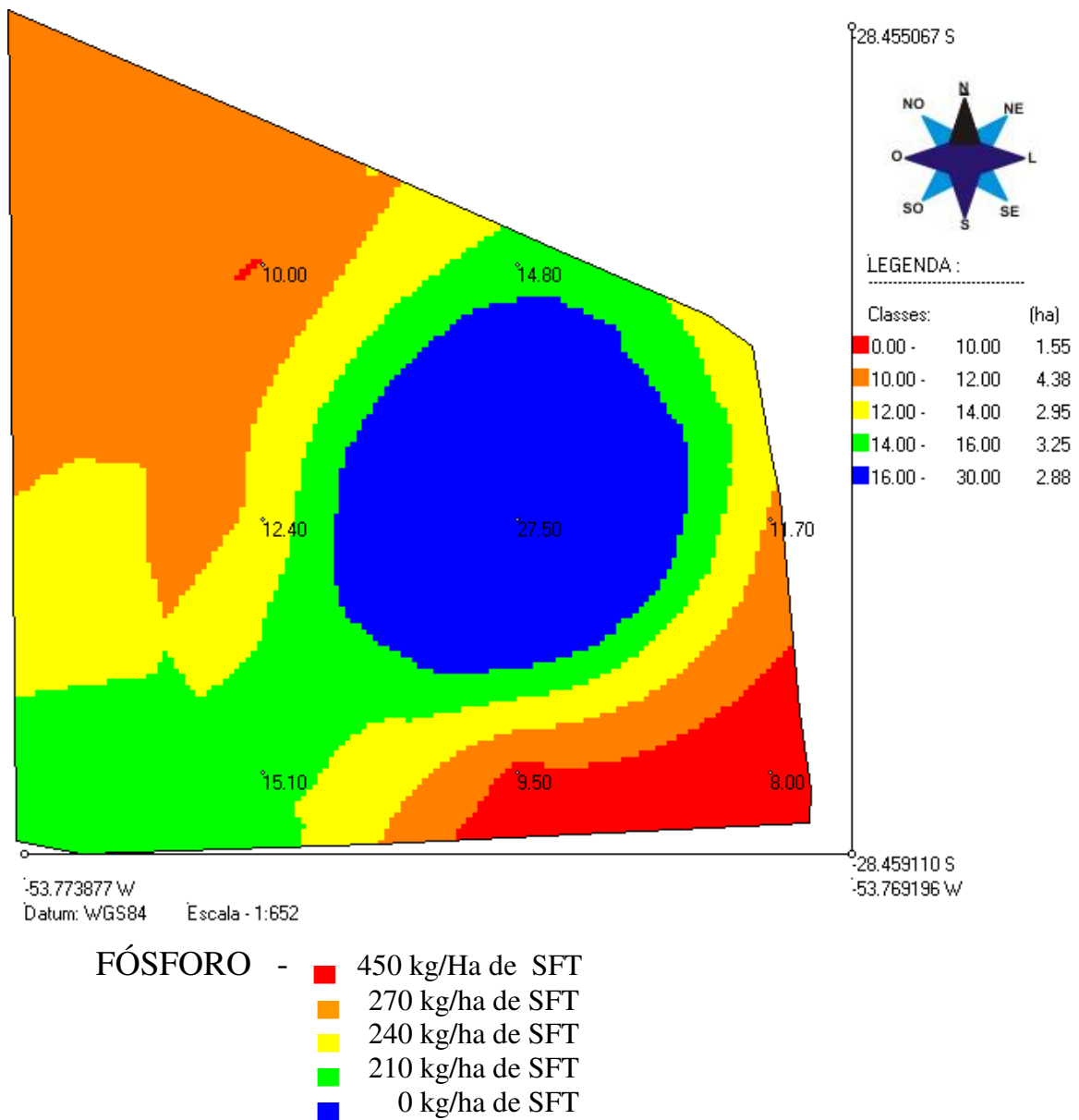


Figura 19-B: Mapa de aplicação do super fosfato triplo 2011

Fonte: PARC-2011.

Como podemos observar, o elemento fósforo foi o que mais diminuiu, quando comparamos os mapas de fertilidade e aplicação, isto, se deve pelo fato de o fósforo ser um elemento, que é facilmente adsorvido pelos óxidos de ferro e argilas, e portanto, diminuído a disponibilidade do mesmo.

5 CONCLUSÕES

Com relação ao pH percebe-se incremento nos níveis de matéria orgânica cálcio e potássio no período de 2008 a 2011 onde foram repetidas as amostragens pelo método da agricultura de precisão.

Por outro lado ocorrem redução significativa nos níveis de fósforo no período avaliado podendo este se dar por o fósforo ser facilmente adsorvido por óxidos de ferro e argilas ou por ocorrer perdas por escorrimento superficial.

Após adotar a pratica da agricultura de precisão com aplicação a taxa variável dos fertilizantes teve-se um gradativo incremento na produtividade tanto em culturas de inverno como nas de verão onde são disponibilizados as quantidades precisas de fertilizantes para que a cultura possa desenvolver todo o seu ciclo assim expressando todo seu potencial de produtividade garantindo um bom retorno financeiro ao produtor.

Acredita-se que no decorrer dos anos e a partir da homogeneização dos níveis de fertilidade, possa-se trabalhar apenas com a reposição dos nutrientes exportados, resultando assim numa redução significativa das doses de fertilizantes utilizados e conseqüentemente uma redução nos impactos ambientais.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BALASTREIRE, L. A. **A Estado-da-Arte da Agricultura de Precisão no Brasil.** v.1 Piracicaba: L. A. Balastreire, 2000. 224 p.

BERNARDI, A. C. de C. et al. Aplicação de Fertilizantes a Taxas Variáveis. In: **Agricultura de Precisão para o Manejo da Fertilidade do Solo em Sistema Plantio Direto.** MACHADO, P. L. O. de A. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004.

CASSEL, D. K.; UPCHURCH, D. R.; ANDERSON, S. H. Using regionalized variables to estimate field variability of corn yield for four tillage regimes. **Soil Science Society of America Journal**, v. 52, n.1, p. 222-8, 1988.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C. **Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants.** Advances in Agronomy. Newark, v. 88, p. 97-185, 2005.

GIOTTO, Enio; SULZBACH, Luciano; ANTUNES, Maria U. F.; SILVA, Daniely V. R. **A Agricultura de Precisão: com o Sistema CR Campeiro 6.** Santa Maria, 2007.

MACHADO, L. O.; LANA, A. M. Q.; LANA, R. M. Q.; GUIMARÃES, E. C.; FERREIRA, C. V. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em áreas sob sistema plantio convencional. **Revista Brasileira de Ciências do Solo.** v. 31, p. 591-99, 2007.

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

MOLIN, J. P.; MASCARIN, L. S.; VIEIRA JÚNIOR, P. A. **Avaliação de intervenções em unidades de aplicação localizada de fertilizantes e de populações de milho.** Engenharia Agrícola. Jaboticabal, v. 26, n. 2, p. 528-36, 2006.

MOLIN, José Paulo. **Agricultura de Precisão: o gerenciamento da variabilidade.** 3.ed. Piracicaba: o autor, 2001.

OLIVEIRA, M.W. **Dinâmica do nitrogênio da uréia (15N) no sistema solo cana-de-açúcar com ou sem queima da palhada.** Piracicaba: USP, 1999. 93 p. (Tese de Doutorado).

PLANT, R. E. **Site specific management: the application of information technology to crop production.** Computers and Electronics in Agriculture. Amsterdam, n. 30, p. 9-29, 2001.

RUFFATO, João P.; et al. Comparativo entre a quantidade de calcário recomendada entre os sistemas de agricultura de precisão e agricultura tradicional. In: **Congresso Brasileiro de agricultura de precisão.** São Pedro, SP. Anais; Florianópolis: USP; ESALQ, 2006.

SARAIVA, M.; CUGNASCA, C.E; HIRAKAWA, A. R. Aplicação em taxa variável de fertilizantes e sementes. In: BORÉM, A. et al. (org.) **Agricultura de Precisão**. Viçosa, MG: UFV, 200. p. 109-45.

SCHUELLER, J. K. O estudo da arte da agricultura de precisão nos EUA. In: **Simpósio sobre Agricultura de Precisão, 2**. Piracicaba, 2000. Anais. Piracicaba. Escola Superior de Agricultura. Luiz de Queiroz, 2000. p. 8-16.

SOLARI, F. **Developing a crop based strategy for on-the-go nitrogen management in irrigated cornfields**. Thesis (PhD in Agronomy) – University of Nebraska, Lincoln, 2006. 157 p.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: UFRGS: Departamento de solos, 2002. 107 p.

TAYLOR, H. M.; ROBERSON, G. M.; PARKER, J. J. **Soil strength-root penetration relations formedium** - to coarse-textured soil materials. Soil Science, Baltimore, v. 102, n. 1, p.18-2, 1966.

VETTORAZZI, C. A.; FERRAZ, S. F. B. Silvicultura de precisão: uma nova perspectiva para o gerenciamento de atividades florestais. In: BORÉM, A.; GIUDICE, M.P.; QUEIRÓZ, D. M. de. **Agricultura de precisão**. Viçosa: Os autores, 2000. p. 65-75.

VIEIRA, S. R. Uso de geoestatística em estudos de variabilidade espacial de propriedades do solo. **Tópicos em Ciência do Solo**. R. F. Novais (ed.). Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, 2000. p. 1-54.

WILD, D., COLVIN, T. S. Analysis of the profitability of production based on yield maps. **Agricultural and Biosystems Engineering**. Minneapolis. 2003. p. 14-7.

YANG, C., EVERITT, J. H., ROBINSON, J. R. C. **Spacial variability in yields e profits within ten grain sorghum fields in south Texas**. Transactions of the ASAE, St. Joseph, v. 45, n. 4, p. 897-906, 2002.