

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”
Departamento de Engenharia Rural

011601 - Estágio Profissionalizante em Engenharia Agrônômica

**Análise de Dados Gerados em Agricultura de
Precisão e Investigação dos Possíveis Agentes
Causadores de Variabilidade Espacial na Aplicação
de Insumos**

Aluno: Leandro M. Gimenez

Orientador: Prof. Dr. José Paulo Molin

Supervisor: Eng. Agr. Marcos L. Valentini

Prefácio,

Este relatório reúne em algumas páginas as principais atividades desenvolvidas durante o último semestre, período no qual ocorreu o estágio profissionalizante.

Estão presentes neste resumo não somente as atividades realizadas, mas também breves revisões de alguns conceitos envolvidos.

Na primeira parte é realizada uma caracterização do ambiente onde o estágio se desenvolveu, a apresentação dos objetivos propostos e uma breve revisão bibliográfica.

Na segunda parte são apresentados os resultados obtidos e na terceira parte são expostas outras atividades desenvolvidas durante o período e uma síntese do estágio.

Este relatório tem por objetivo apresentar brevemente as atividades desenvolvidas fornecendo também alguma base teórica, sobre a qual se apóiam muitos dos conceitos aqui envolvidos. Não se pretende, contudo aprofundar muito em um determinado assunto, o que não se enquadraria nos moldes do trabalho realizado.

As idéias, assuntos, propostas e resultados aqui apresentados devem servir de subsídio a questionamentos e à argumentação durante a apresentação que deve ocorrer em breve.

Índice

Parte I

<i>Caracterização do Ambiente</i>	4
<i>Objetivos Propostos</i>	8
<i>Revisão Bibliográfica – Agricultura de Precisão</i>	
<i>A definição</i>	9
<i>O Conceito</i>	10
<i>A Prática</i>	10
<i>O Sistema de Posicionamento</i>	11
<i>As Fases da Agricultura de Precisão:</i>	
<i>Mapeamento da Produtividade</i>	11
<i>Mapeamento de Fatores no Campo de Produção</i>	12
<i>Integração das Informações</i>	15
<i>Compreendendo a Variabilidade</i>	16
<i>Manejando a Variabilidade</i>	17

Parte II

<i>Estudo da Variabilidade</i>	21
<i>Descritiva:</i>	
<i>Dados de produtividade</i>	21
<i>Dados de Fertilidade</i>	23
<i>Espacializada:</i>	
<i>Mapas de Produtividade</i>	35
<i>Mapas de Fertilidade Química</i>	42
<i>Entendendo a Variabilidade</i>	57
<i>Correlações Entre Produtividade e Teores de Nutrientes no Solo</i>	57
<i>Regressões Múltiplas - Produtividade e Teores de Nutrientes no Solo</i>	62
<i>Definição de Unidades de Manejo Utilizando os Dados de Fertilidade</i>	
<i>Química e Produtividade</i>	65
<i>Mecanização Agrícola e Variabilidade – Caso das Semeadoras</i>	70

Parte III

<i>Atividades Paralelas</i>	78
<i>Síntese</i>	79
<i>Bibliografia</i>	82

Parte I

Caracterização do Ambiente

As atividades foram desenvolvidas em Castro, município localizado na região Centro-Sul do estado do Paraná, onde está sediada a *Fundação ABC para Assistência e Divulgação Técnica Agropecuária*.

A Fundação ABC, como é conhecida, é uma empresa particular sem fins lucrativos pertencente às cooperativas Arapoti, Batavo e Castrolanda, sendo mantida pelos cooperados. A empresa tem como principal objetivo o desenvolvimento de pesquisas voltadas ao produtor. Fundada em 1984, a empresa sempre teve como característica marcante o trabalho desenvolvido com o sistema Plantio Direto.

Seu corpo técnico, composto por Engenheiros Agrônomos e Técnicos Agrícolas, está organizado em função das diferentes áreas de pesquisa. Os setores em trabalho atualmente são: Fitotecnia, Fertilidade, Herbologia, Defesa Sanitária Vegetal, Economia, Horticultura, Informática e no futuro deve ser implantado o setor Mecanização Agrícola.

A região de Castro é considerada como berço do sistema Plantio Direto sendo considerada uma das regiões com maior nível de tecnificação na agropecuária brasileira.

As médias de produtividade dos agricultores associados comprovam isso como pode ser visto na tabela abaixo.

Tabela 1 – Produtividade média das principais culturas de grãos de acordo com a região considerada.

	Produtividade (t/ha)		
	Brasil*	Paraná*	ABC**
Soja	2,4	2,5	2,9
Milho	2,5	3,4	6,9
Trigo	1,6	1,7	2,6
Feijão	0,6	0,8	2,3

* Safra 98 - Fonte: AGRIANUAL 2000.

** Média últimos 3 anos - Economia Fabc.

As pesquisas desenvolvidas pela Fundação ABC são direcionadas de acordo com a demanda dos produtores associados que apresentam os problemas e questões a serem estudadas em reuniões técnicas, apresentações de resultado e dias de campo ou ainda

através da assistência técnica, engenheiros agrônomos contratados pelos produtores que fazem a ponte entre a Fundação ABC e os mesmos. Este é um aspecto marcante do grupo ABC, a troca de informações e a adoção de novas tecnologias são constantes e ocorrem de modo cooperativo, os agricultores dividem e somam conhecimentos.

A experimentação é realizada em campos experimentais espalhados pela área de abrangência da Fundação ABC - região conhecida como Campos Gerais - e também nas propriedades de associados. Os campos experimentais são cinco, identificados pela região onde estão localizados e para onde devem gerar informações, regionalizando a experimentação: Ponta Grossa, Castro, Tibagi, Arapoti e a Fazenda Capão Alto em Castrolanda onde são desenvolvidos trabalhos na área de pecuária.

Além de estar tecnicamente bem estruturada, a região também conta com um clima bastante favorável à agricultura. A temperatura média anual é de 17°C e a precipitação média anual é de 1300mm sendo as chuvas bem distribuídas durante o período. Embora favoráveis, há grande variabilidade nas condições climáticas sendo a amplitude térmica bastante significativa ao longo do dia . Na área de influência da Fundação ABC encontra-se altitudes variando entre 640 e 1050m, as condições climáticas são bastante regionalizadas caracterizando alta variabilidade.

Tabela 2 – Histórico de temperatura média e precipitação para Castro.

Mês	Temp. Média (°C)	Precipitação (mm)
Jan	20,4	193
Fev	19,8	156
Mar	19,6	142
Abr	17,1	111
Mai	14,2	125
Jun	12,5	127
Jul	12,4	90
Ago	13,7	84
Set	14,1	126
Out	16,3	146
Nov	16,6	116
Dez	17,5	158

Fonte: INMET

A variabilidade também ocorre nos solos da região havendo solos de baixa e alta fertilidade lado a lado, o mapeamento de solos em escala mais acessível está sendo realizado pela Embrapa e deve ficar pronto no próximo ano.

Figuras 1, 2 e 3 – Ambientes distintos encontrados nos Campos Gerais.



O sistema Plantio Direto é adotado pela quase totalidade dos produtores da região sendo as principais culturas de verão a soja, o milho e o feijão. No inverno o trigo é cultivado comercialmente e a aveia preta é utilizada como cobertura. A rotação de culturas é realizada rigorosamente havendo vários sistemas de rotação, a adoção do Plantio Direto foi realizada ao longo dos anos havendo áreas sob o sistema há mais de 20 anos e outras onde a técnica foi adotada há pouco tempo.

Preocupada em buscar novas tecnologias e ciente da necessidade de conhecer melhor sua área de atuação, a Fundação ABC está desenvolvendo trabalhos com a técnica denominada agricultura de precisão, através de um projeto em que produtores,

instituições de pesquisa e empresas estão envolvidos. Estes trabalhos compreendem o mapeamento de uma série de atributos em talhões produtivos e a busca pelo entendimento da variabilidade identificada. Atualmente uma significativa quantidade de informação está em poder da empresa e ainda não há um responsável pela sua manipulação. Dentro desta visão se desenvolveu o estágio, o estagiário foi responsabilizado pela organização, manipulação e suporte à agricultura de precisão na Fundação ABC.

Objetivos Propostos:

I – Estabelecer e implementar critérios organizacionais para permitir rápido acesso e visualização das informações disponíveis.

- A Fundação ABC está desenvolvendo um projeto onde foram e estão sendo gerados dados que precisam ser organizados para melhor acesso e compreensão. A proposta é auxiliar na organização dos dados já existentes bem como aqueles que venham a ser gerados no decorrer do estágio.

II – Determinar a variabilidade espacial presente nas áreas estudadas de modo a estabelecer relações isoladas e conjugadas entre os fatores de produção e a produtividade.

- Os dados gerados compreendem mapas de produtividade e de fertilidade além de outras informações que ainda não foram avaliadas com rigor. A proposta é realizar análises estatísticas e empregar ferramentas de agricultura de precisão para estabelecer se os fatores de produção têm relação com a mesma.

III – Auxiliar a Fundação ABC realizando treinamento de pessoal para a utilização de ferramentas de Agricultura de Precisão.

- Para o desenvolvimento do projeto é necessário integrar os diferentes setores da Fundação ABC de modo a trabalhar conjuntamente. A proposta é oferecer aos diferentes pesquisadores a possibilidade de aprofundamento em conceitos da agricultura de precisão e apresentar as potencialidades do uso desta ferramenta.

Revisão Bibliográfica

Agricultura de Precisão

A definição

Apesar de rapidamente difundida e muito comentada, ainda é difícil definir o que vem a ser Agricultura de Precisão. Muitos são os trabalhos científicos espalhados por todo o mundo descrevendo e estudando esta técnica que é ainda pouco utilizada.

Segundo QUEIROZ et al.(2000) a agricultura de precisão é a tecnologia cujo objetivo consiste em aumentar a eficiência com base no manejo diferenciado de áreas de agricultura. Para MANTOVANI (2000) o termo agricultura de precisão engloba o uso de tecnologias atuais para o manejo de solo, insumos e culturas, de modo adequado às variações espaciais e temporais em fatores que afetam a produtividade das mesmas. Ainda, para MOLIN (2000) agricultura de precisão é sobretudo um sistema de gestão ou de gerenciamento da produção agrícola, um elenco de tecnologias e procedimentos utilizados para que as lavouras e o sistema de produção sejam otimizados tendo como elemento chave o gerenciamento da variabilidade espacial da produção e dos fatores a ela relacionados.

MOORE (1997) define agricultura de precisão como um sistema de produção que permite a maximização do retorno, onde as entradas (operações de preparo, sementes, fertilizantes e agroquímicos), são variadas de acordo com o rendimento potencial de partes individuais do campo.

Provavelmente não chegaremos a um consenso sobre o que vem a ser a agricultura de precisão, em parte devido às várias escalas de sua aplicação. Para alguns pesquisadores a agricultura de precisão se restringe somente ao manejo localizado dos fatores de produção enquanto outros defendem a técnica como uma nova maneira de entender todo o sistema produtivo.

O Conceito

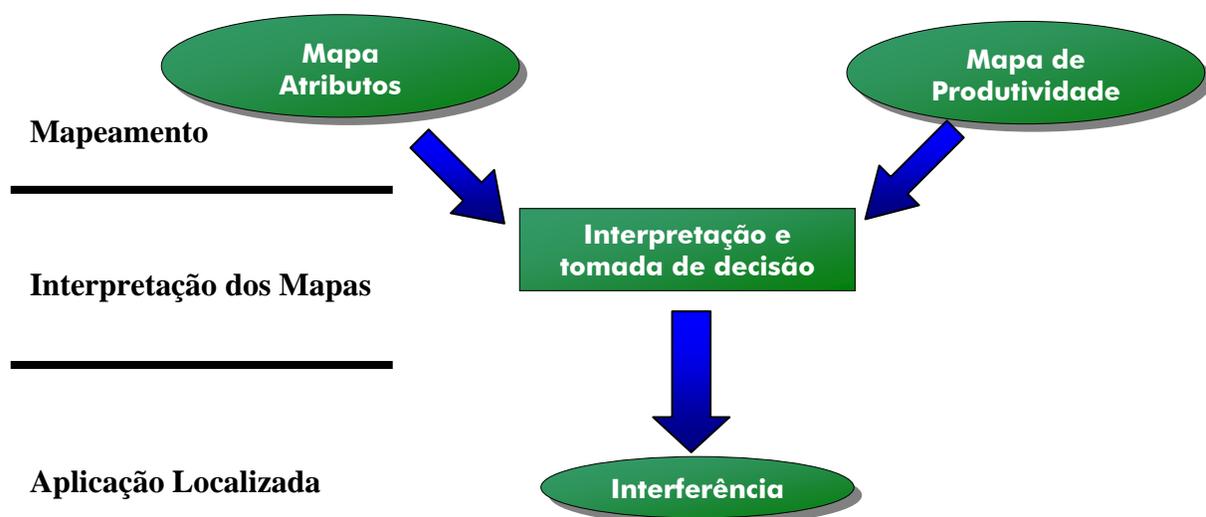
Esta nova técnica tem suas bases nos mais antigos princípios da agricultura, os pequenos lavradores praticam há séculos a chamada agricultura de precisão, na medida em que ao longo de anos cultivando sua pequena lavoura acaba por conhecer detalhadamente a sua área e passa a tratar de modo diferenciado pequenas partes da mesma. Infelizmente, com a necessidade de aumentar a produção agrícola, a escala de produção foi drasticamente elevada tornando impraticável o tratamento diferenciado (Deere & Company, 1997).

A Prática

A aplicação deste conceito na agricultura moderna de escala, está apoiada em uma série de tecnologias. Dentro de uma visão prática e usual, convencionou-se dividir o chamado sistema de agricultura de precisão em distintas fases. Segundo SARAIVA (2000) pode se identificar quatro grandes etapas básicas em um sistema de agricultura de precisão: a coleta de dados, o gerenciamento da informação, a aplicação localizada de insumos ou aplicação de insumos a taxa variável e a avaliação dos resultados.

Para ANTUNASSI et al. (2000) o sistema é composto por três fases principais: coleta de dados para o mapeamento, interpretação dos mapas e aplicação localizada. Estas distintas fases apresentam em comum a dependência de um sistema de posicionamento.

Figura 4 – Diagrama exemplificando um dos sistemas propostos.



O Sistema de Posicionamento

O sistema de posicionamento utilizado em maior escala na agricultura de precisão é o GPS (Global Positioning System). O GPS é um sistema de navegação baseado em satélites e operado pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos. Desde sua concepção nos anos 70, é um sistema de cunho essencialmente militar. Porém, o congresso dos Estados Unidos o tornou público e acessível aos civis. O programa de implementação começou no final da década de 70 e foi considerado como concluído em 1995. A partir de então em qualquer local da terra, um receptor de GPS pode determinar sua posição 24 horas por dia. Este serviço é gratuito e disponível sob qualquer condição de tempo. (adaptado de MOLIN, 2000). O posicionamento obtido com o sistema GPS não é suficiente para a aplicação nas atividades agrícolas sendo necessário o emprego de uma técnica adicional para melhorar a precisão obtida no posicionamento, a correção diferencial. Ao sinal obtido com o emprego desta técnica denominou-se DGPS (Differential Global Positioning System), (Deere & Company 1997).

As Fases da Agricultura de Precisão – Mapeamento da Produtividade

O processo de adoção da agricultura de precisão tem seu início na coleta de informações para identificar a variabilidade presente nos campos produtivos. O mapeamento da produtividade é considerado por muitos pesquisadores como a principal fase em agricultura de precisão. A coleta automática de informações durante a colheita, a um custo relativamente baixo, é a peça chave para o sucesso do processo. O mapeamento da produtividade fornece uma boa estimativa da variabilidade presente no campo produtivo, pois representa a variabilidade em sua expressão final: na produtividade.

MOORE (1997) em sua tese de doutorado estudou com detalhes o mapeamento da produtividade. O autor descreve todo o processo desde a coleta das informações até a elaboração dos mapas, atentando para detalhes importantes.

O mapeamento da produtividade é realizado por colhedoras equipadas com um conjunto de sensores para quantificar o grão que entra na máquina, um monitor de colheita para armazenar as informações e um receptor DGPS para fornecer o

posicionamento da máquina no campo. Ao se deslocar no campo os sensores quantificam continuamente a massa ou volume de grão que entra na máquina e o monitor de colheita calcula a área representativa desta massa ou volume, sendo obtida a produtividade em cada pequena área da lavoura. Estes dados são georreferenciados com o auxílio do sistema DGPS obtendo-se ao final da colheita um grande número de pontos representativos de pequenas áreas com coordenadas e produtividade conhecidas. Com o auxílio de programas específicos é realizada a interpolação dos dados para a confecção do mapa de produtividade (VALENTINI et al. 2000).

Segundo STAFFORD et al. (1999) durante o processo de coleta dos dados de rendimento ocorrem erros que afetam a sua qualidade. São mencionados erros no posicionamento, nos sensores de fluxo de grãos, tamanho efetivo da plataforma de corte e no tempo de trânsito do grão no interior da colhedora. MURPHY et al. (1995) atenta para erros na entrada da máquina no campo, no início da colheita de uma faixa e erros devido à mudança repentina na velocidade de deslocamento da máquina.

THYLÉN et al. (1997) apresenta os erros de forma a atribuí-los a diferentes causadores, sendo apresentados erros devido a problemas ou diferenças inerentes ao campo, erros causados pelo operador e erros gerados durante o processamento das informações. BLACKMORE (1996), propõe uma metodologia para eliminar erros na largura efetiva da plataforma e no tempo de trânsito do grão no interior da colhedora. GIMENEZ (2000), propõe um algoritmo para a redução dos erros presentes nos dados obtidos no mapeamento de produtividade.

A interpretação de um mapa de produtividade é também muito importante uma vez que uma má escolha em sua apresentação pode torna-lo bastante subjetivo.

LARSCHEID et al.(1997), identificaram os principais fatores que devem ser considerados na confecção de um mapa de produtividade e apontam o fato de que o mapa precisa representar com fidelidade as regiões de maior e menor produtividade devendo ser utilizados para isso diferentes métodos de interpolação.

As Fases da Agricultura de Precisão – Mapeamento de Fatores no Campo de Produção

A presença de variabilidade no campo de produção é refletida, como dito anteriormente, na produtividade. Após a diagnose da presença de variabilidade na

produtividade, deve ser realizado o levantamento dos fatores que podem estar gerando a variabilidade. LARK et al. (1999), estudando os mapas de produtividade de diferentes campos de produção atentaram para o fato de que o grau de variabilidade difere bastante entre os campos produtivos e que a interação entre a variabilidade na produtividade com a variabilidade presente no solo foi bastante significativa em três de quatro campos estudados indicando a possibilidade de utilizar os mapas de produtividade como base para o estudo do solo.

EHLERT et al. (1997) apresentam diferentes métodos para o levantamento da variabilidade e afirmam que na prática podem ser utilizados os métodos que utilizam veículos terrestres e aéreos, os autores dividem a aquisição de dados de acordo com o tipo de equipamento utilizado: imagens aéreas, aquisição a partir de veículos terrestres e inspeção manual.

A fertilidade do solo é apontada sempre como um dos fatores mais importantes para a determinação do rendimento das culturas. Para FRANÇA (2000) os métodos de aplicação de fertilizantes (sulco/lanço), exportação diferenciada de nutrientes pelas culturas (gramíneas/leguminosas), diferentes rendimentos e sistemas de plantio (plantio direto/plantio convencional), exarcebaram a desuniformidade dos campos de cultivo complicando a amostragem e a interpretação dos dados de análise de solos.

A estimativa dos teores de nutrientes presentes no solo é realizada normalmente através de amostragem aleatória em áreas consideradas uniformes. São retiradas sub amostras que após a união e homogeneização seguem para o laboratório. As recomendações para adubação são realizadas com base no resultado da análise, que reflete os teores médios dos nutrientes para todo o campo considerado, sendo aplicada uma dose uniforme de fertilizante. Com o desenvolvimento da agricultura de precisão é possível variar a taxa de aplicação de fertilizantes sendo estes aplicados de acordo com seu teor no solo. Surge então a necessidade de estimar a variabilidade dos teores de nutrientes ao longo do campo sendo adotado na maioria das vezes o método da amostragem em grade (Deere & Company, 1997).

Segundo YANG et al. (1998) a amostragem de solo em grade é um método utilizado rotineiramente para avaliar a variabilidade presente na fertilidade do solo, e fornece a base para a aplicação de nutrientes em taxa variável. FROGBROOK (1999)

estudando diferentes densidades amostrais para a coleta de amostras em grade e tipos de interpolação para a geração de mapas de fertilidade, atenta para uma série de problemas que ocorrem quando a amostragem não é realizada de modo correto, segundo o autor podem ser obtidos resultados significativamente diferentes para uma mesma área considerada dependendo da metodologia adotada.

Outro método utilizado para o mapeamento da fertilidade do solo é a utilização de sensoriamento direto. A coleta de amostras de solo e seu envio para o laboratório são tarefas de alto custo. MOLIN (2000) afirma que a tecnologia está caminhando na direção oposta à amostragem, procurando desenvolver sensores que são sensíveis às características físicas e químicas do solo e que geram uma resposta que pode ser gravada e utilizada na confecção de mapas. O sensoriamento direto pode ser realizado para a confecção de mapas, sendo necessário utilizar um sistema de posicionamento, ou para a aplicação em tempo real quando a máquina aplicadora de insumos equipada com sensores realiza a aplicação com base nas leituras do sensor em *tempo real* (QUEIROZ et al., 2000).

O sensoriamento remoto, uma técnica para coleta de informações a distância, é outro método utilizado na detecção da variabilidade presente no campo. BLACKMER & SCHEPERS (1996) utilizaram fotos aéreas para a estimativa de um índice de matéria orgânica. Na busca de possíveis soluções para controlar a aplicação localizada de nitrogênio eles testaram fotos aéreas do solo antes da semeadura e posteriormente. Utilizaram também sensores óticos instalados sobre o veículo aplicador de nitrogênio para medir a luz refletida pelo milho.

Outros fatores como pragas, doenças e plantas daninhas também podem ser monitorados, SILVA et al. (2000) cita uma série de fatores importantes na adoção das técnicas de agricultura de precisão para o controle de doenças. Dentre os fatores levantados os que apresentaram maior peso foram a necessidade de desenvolver métodos diretos para a mensuração e espacialização rápida da ocorrência das doenças a campo e a realização de uma caracterização e modelagem da variabilidade espacial de espécies chaves de fitopatógenos, danosos às culturas econômicas.

COLLIVER et. al., (1996) citado por VOLL (2000) diz que o levantamento de plantas daninhas para a aplicação de agricultura de precisão pode ser realizado de três formas diferentes:

Tabela 3 – Métodos empregados no levantamento de plantas daninhas

Método de Levantamento	Área de infestação determinada (%)	Detalhes de levantamento na delimitação de manchas	Resultados Finais
Sensoriamento Remoto por imagem digital	68,6	Intermediário	Maior consumo de tempo. O menos eficiente
Sensoriamento remoto por análise de reflectância	66,5	A descrição mais detalhada	O menor custo. Reduz a área de manejo.
Levantamento por GPS	90	Menor detalhamento	O mais eficiente.

As diferentes metodologias devem ser empregadas de acordo com a aplicação a que se destinam uma vez que os resultados obtidos são diferentes, sendo consenso entre os autores o fato de que a geração de mapas de plantas daninhas é algo crítico no processo .

Inúmeros trabalhos apresentam diferentes métodos para o levantamento de vários fatores do campo de produção que podem estar influenciando o rendimento das culturas.

As Fases da Agricultura de Precisão – Integração das Informações

Uma vez realizada a coleta de informações no campo: produtividade, fertilidade, plantas daninhas, doenças e outras, é necessário integrar estas informações para entender as relações entre os diferentes fatores e a produtividade. A ferramenta utilizada para a integração e cruzamento de informações é o SIG – Sistema de Informações Geográficas. Um SIG é um conjunto organizado de hardware, software e pessoal treinado, sendo especialmente projetado para capturar, armazenar, manipular, analisar e representar informações georeferenciadas. (ESRI, 1992). O SIG pode ser uma ferramenta analítica poderosa, pois contém funções de análise espacial que relacionam as entidades (pontos amostrais, talhões), estejam próximas ou distantes. O sistema permite determinar e indexar em uma posição específica do terreno cada fração dos dados coletados, a partir de informações prévias da área, da amostragem de solo, do

levantamento da incidência de doenças na lavoura, ou por sensores embarcados em implementos, ou nos equipamentos de monitoramento (SILVA et al., 2000).

As Fases da Agricultura de Precisão – Compreendendo a Variabilidade

Embora o SIG seja uma ferramenta indispensável, capaz de relacionar diferentes camadas de informação e auxiliar na sua visualização, o entendimento das relações entre a produtividade e os vários fatores que a determinam é bastante difícil e depende quase que totalmente dos conhecimentos dos profissionais envolvidos. Na agricultura de precisão o que se nota hoje é que com o desenvolvimento acelerado de novos equipamentos, criados por pessoas não diretamente ligadas ao sistema de produção, houve um certo esquecimento de alguns princípios da ciência agrônômica.

A utilização de mapas de produtividade para a divisão do campo de produção em unidades de manejo foi proposta por STAFFORD (1998), o autor utilizou mapas de produtividade de vários anos e aplicando diferentes técnicas para entender a estrutura da variabilidade conseguiu identificar regiões distintas em um mesmo campo de produção.

EARL (1997) apresenta uma série de variáveis que podem influenciar a produtividade e as divide de acordo com a possibilidade de controle. Variáveis como textura, clima e topografia são consideradas como não manejáveis enquanto outras como estrutura do solo, água disponível, capacidade de armazenamento de água pelo solo, níveis de nutrientes, pH, competição com plantas daninhas, doenças e pragas são consideradas como manejáveis.

Na tentativa de explicar a variabilidade da produtividade do milho no *corn belt* norte-americano, RUNGE (1998) apresentou uma série de variáveis que poderiam estar causando problemas. Dentre as variáveis estudadas (fertilidade do solo, disponibilidade de água, plantas daninhas, época de plantio e outras) apontou a disponibilidade de água como o fator mais importante na região. O autor atenta para o fato de que a disponibilidade de água deve ser avaliada sob dois aspectos: precipitação e capacidade de armazenamento de água pelo solo. Em anos onde a precipitação é considerada boa, não se nota diferença significativa entre a produção em solos com diferentes capacidades de retenção de água o que não ocorre em anos secos. Este trabalho é interessante, pois

apresenta um tipo de interpretação necessária para entender o sistema produtivo uma vez que o autor faz a análise de modo mecanístico.

Considerando a complexidade do sistema solo-água-planta o grande desafio para a agricultura de precisão está no entendimento dos mecanismos fundamentais que governam as interações, para explicar as variações espaciais e temporais na performance das culturas permitindo aos produtores ajustar suas práticas de manejo (ALPHEN, 1998). Muitos pesquisadores têm procurado estabelecer relações simples entre a produtividade das culturas e um ou vários fatores determinantes do seu desenvolvimento STAFFORD (1997). Estas tentativas apresentam um sério problema: dificilmente contribuem para o entendimento das variações observadas no rendimento. Além disso, os resultados obtidos são por vezes fisiologicamente inaceitáveis, e.g., uma resposta negativa à radiação solar (LAIRD & CADY, 1969).

Onde as relações estatísticas falham na tentativa de explicar a variação observada, os modelos mecanísticos procuram descrever os processos fundamentais governando a produtividade. A primeira vantagem dos modelos mecanísticos é que eles permitem incorporar nossos conhecimentos sobre a cultura o solo e os processos atmosféricos (ACOCK & PACHEPSKY, 1997).

A aplicação mais promissora para modelos na agricultura de precisão é a simulação em tempo real da dinâmica do sistema solo-água-planta. Estas simulações podem produzir informações importantes sobre o comportamento de cada um dos fatores determinantes da produção em tempo real, permitindo o ajuste do manejo para as condições imediatas. Outro potencial da aplicação de modelos é a determinação de unidades de manejo dentro dos campos de produção.

As Fases da Agricultura de Precisão – Manejando a Variabilidade

Na agricultura convencional, fertilizantes e corretivos são aplicados em uma taxa previamente calculada e uniforme em toda a área a ser tratada. Do ponto de vista técnico e ambiental esta não é a melhor solução. O conhecimento da variabilidade em uma área cultivada nos permite considerar a aplicação dos fatores responsáveis pelo crescimento das plantas em diferentes doses. Variando a aplicação de corretivos e fertilizantes de acordo com o requerimento de cada pequena área é possível aumentar a taxa de

utilização dos nutrientes e minimizar as perdas por lixiviação que compreendem um problema global (PERSSON et. al., 1997).

Uma vez mensurada e entendida, a variabilidade é manejada com o que se denomina tecnologia de taxa variável. Embora seja difícil precisar uma data, os primeiros sistemas de aplicação em taxa variável são mencionados pelos pesquisadores e por algumas empresas entre o final da década de 70 e o início da década de 80 (SCHUELLER, 1992).

Na aplicação em taxa variável ou aplicação localizada de insumos, as máquinas recebem informações do seu exato posicionamento no campo e de acordo com mapas de aplicação depositam somente a quantidade necessária dos insumos, apenas nos locais desejados (ANTUNIASSI, 2000).

Segundo SARAIVA (2000) embora o principal foco da agricultura de precisão esteja centrado no mapeamento prévio dos parâmetros, a aplicação em taxa variável pode ser realizada sem o uso de mapas, dentro da idéia de sensoriar e aplicar em tempo real.

Deere & Company (1997) apresenta os principais tipos de equipamentos utilizados em tecnologia de taxa variável e divide a técnica de acordo com o tipo de informação utilizada para proceder à aplicação. Tanto a aplicação com base em mapas como a aplicação baseada em sensores (tempo real), devem se desenvolver. Os dois métodos têm suas vantagens e desvantagens e devem ser empregados conjuntamente no futuro, entretanto estas tecnologias não poderão ser empregadas efetivamente caso não haja um melhor conhecimento dos sistemas produtivos.

Parte II

Objetivo I – Estabelecer e implementar critérios organizacionais para permitir rápido acesso e visualização das informações disponíveis.

Durante o decorrer do projeto de agricultura de precisão foram gerados mapas de produtividade e mapas de fertilidade do solo. A princípio havia somente uma área, ou seja, um talhão produtivo onde o projeto seria desenvolvido, no segundo ano passou-se de uma para dez glebas e no terceiro somam-se um total de quinze glebas, o volume de informações cresceu rapidamente.

Parte das informações coletadas se encontravam em um mesmo computador fora da instituição e parte se encontrava em propriedade dos parceiros do projeto.

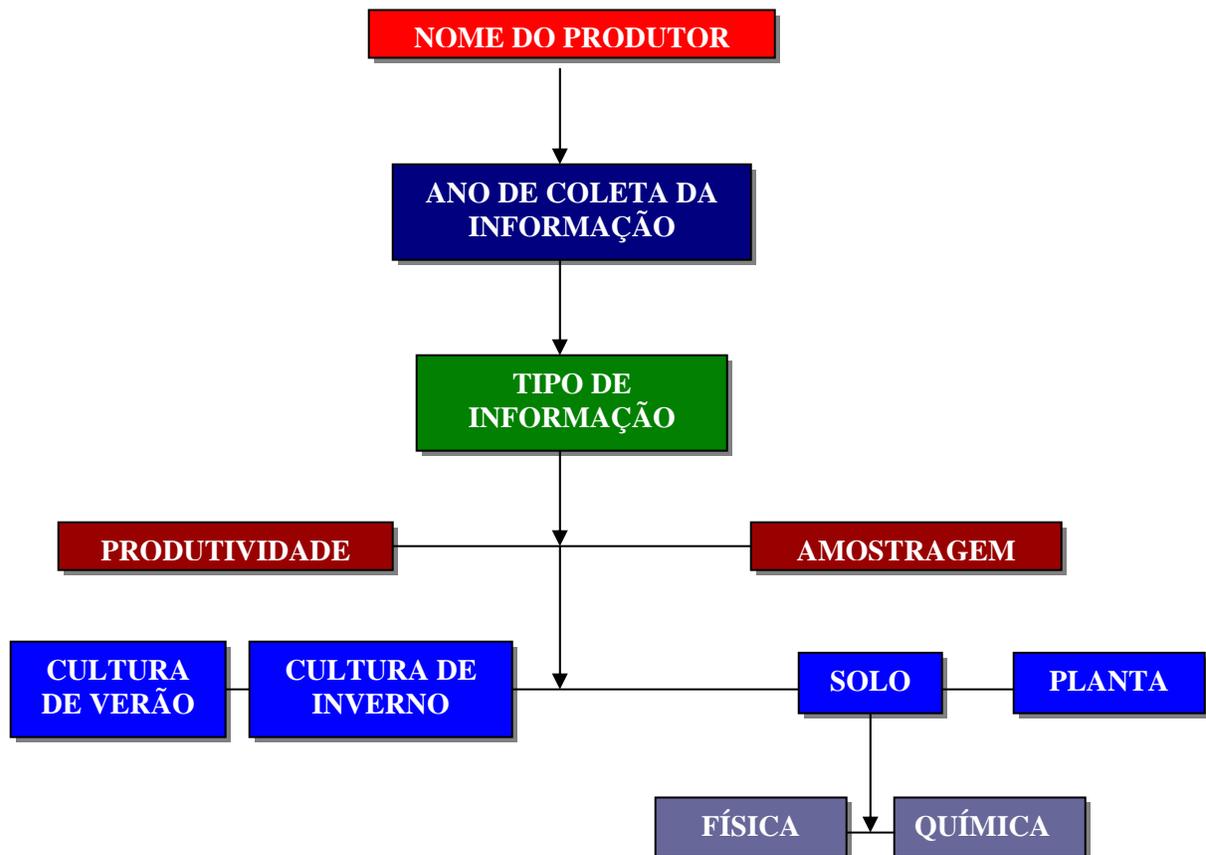
Não havia até então um critério organizacional para o armazenamento das informações e seu acesso era por vezes confuso. Outro problema freqüente era a dificuldade por parte do corpo técnico em acessar as informações, uma vez que o banco de dados estava fisicamente isolado.

A proposta para organizar e também para posterior manipulação das informações foi a de se comprar o hardware e o software (SIG) necessário. Realizou-se uma pesquisa para determinar quais seriam os componentes mais adequados e prosseguiu-se à elaboração de orçamentos para a aquisição do equipamento.

O tipo de dado a ser organizado compreendia uma série de arquivos das 15 glebas do projeto, em diferentes formatos e que deveriam ser importados e manipulados no software adquirido.

Com a disponibilidade do equipamento foi realizada a proposta de organizar as informações com base em uma hierarquia: nome do produtor, ano de coleta da informação e tipo de informação como pode ser visto no diagrama a seguir.

Figura5 – Diagrama representando o critério organizacional proposto.



Os dados foram organizados de acordo com a proposta e para facilitar o acesso por parte dos pesquisadores, as informações foram disponibilizadas em formatos (tipos de arquivos) que não necessitam programas específicos para a visualização.

No futuro pretende-se aprimorar o software para acesso a bancos de dados que a instituição possui para que neste possam ser acessadas as informações do projeto de agricultura de precisão. Com este software será possível “quebrar” a hierarquia para chegar a uma determinada informação de modo mais rápido.

Também deve ser aprimorada a página da empresa na internet para que os associados possam ter acesso às informações e alimentar o banco de dados com dados que não somente os de agricultura de precisão.

Objetivo II – Determinar a variabilidade espacial presente nas áreas estudadas de modo a estabelecer relações isoladas e conjugadas entre os fatores de produção e a produtividade.

Estudo da Variabilidade - Descritiva

Área Estudada

Devido à demanda das instituições envolvidas no projeto e também à maior disponibilidade de informações em uma das áreas, o estudo foi restrito a somente uma gleba. A gleba está localizada no município de Castro e se encontra sob o sistema de Plantio Direto há mais de 15 anos possuindo elevada fertilidade. São realizados o plantio comercial da soja, milho e trigo e de coberturas como a aveia e o triticale.

Dados de produtividade

Nas safras 1998/1999 e 1999/2000 foram gerados mapas de produtividade das culturas da soja e do milho respectivamente. Aplicou-se estatística descritiva nos dados obtidos para um estudo preliminar da variabilidade.

Gráfico 1 – Distribuição da produtividade da cultura da soja na safra 1998/1999 para a área estudada.

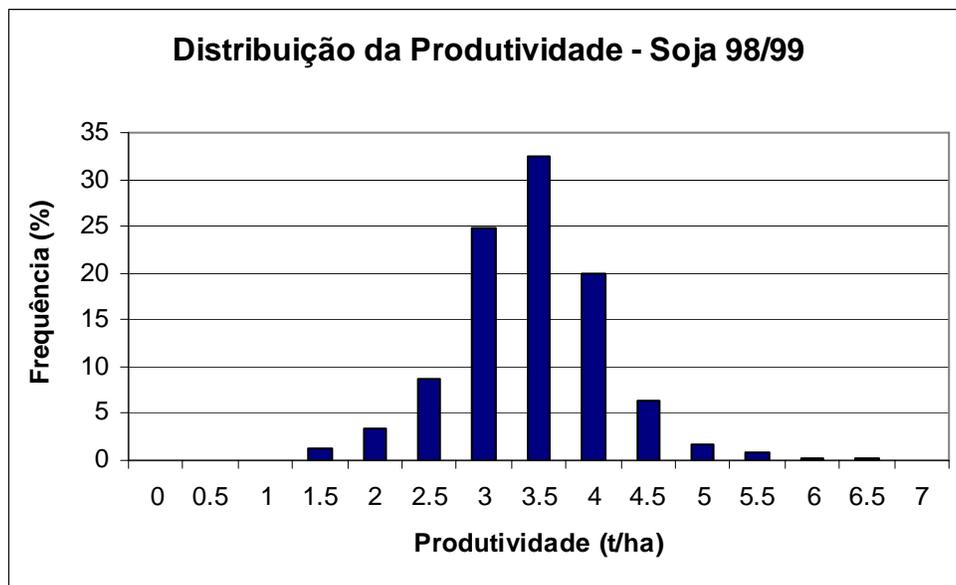


Tabela 4 – Estatística descritiva para a produtividade da cultura da soja na safra 1998/1999.

Soja - 98/99	
Média (t/ha)	3.18
Desvio padrão	0.68
Variância da amostra	0.47
Curtose	1.26
Assimetria	0.17
Intervalo (t/ha)	5.18
Mínimo (t/ha)	1.05
Máximo (t/ha)	6.23

Gráfico 2 – Distribuição da produtividade da cultura do milho na safra 1999/2000 para a área estudada.

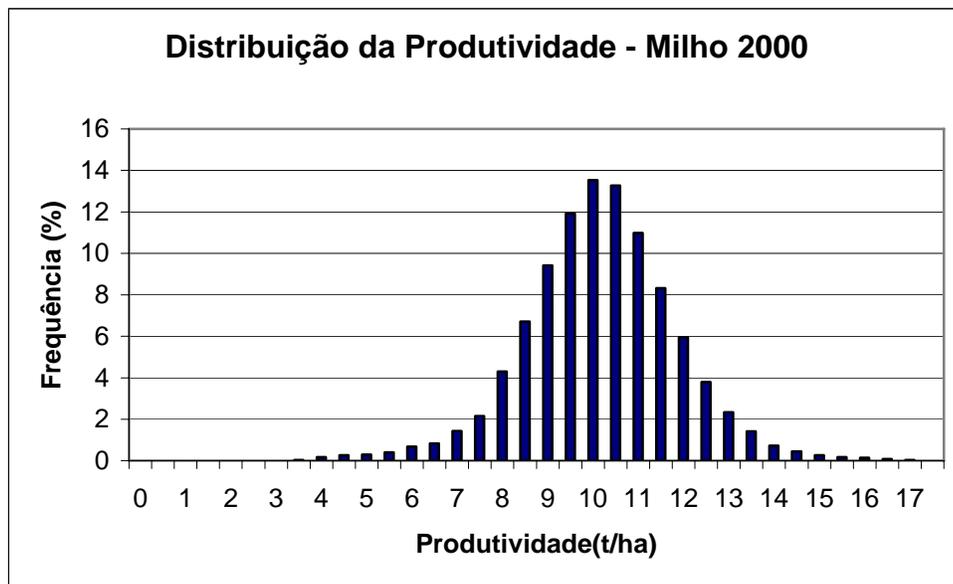


Tabela 5 – Estatística descritiva para a produtividade da cultura da soja na safra 1998/1999.

Milho - 99/00	
Média (t/ha)	9.9
Desvio padrão	1.7
Variância da amostra	2.8
Curtose	1.1
Assimetria	-0.1
Intervalo (t/ha)	13.5
Mínimo (t/ha)	3.3
Máximo (t/ha)	16.8

Uma idéia da variabilidade pode ser obtida observando-se os limites extremos de produtividade. Para a soja a produtividade variou entre 1,05t/ha e 6,23t/ha e para o milho variou entre 3,3t/ha e 16,8t/ha.

A distribuição de produtividade obtida nas duas safras pode ser considerada normal. Em ambas as safras a distribuição se encontra deslocada para as produtividades mais elevadas.

Dados de Fertilidade

Os resultados de análise química do solo utilizados são de uma amostragem realizada ao final de 1999 nas profundidades de 0 a 5cm, 0 a 10cm e 0 a 20cm sendo retirada 1 amostra a cada 30m de distância no campo. Foram estudados os fatores: fósforo, matéria orgânica, pH, potássio, cálcio, magnésio, H+Al, soma de bases, saturação em bases, saturação em alumínio e CTC.

Foram retiradas no total 225 amostras para cada profundidade sendo utilizadas 8 sub amostras para a confecção de 1 amostra.

Gráfico 3 - Distribuição dos teores de fósforo com a variação na profundidade de coleta de amostras.

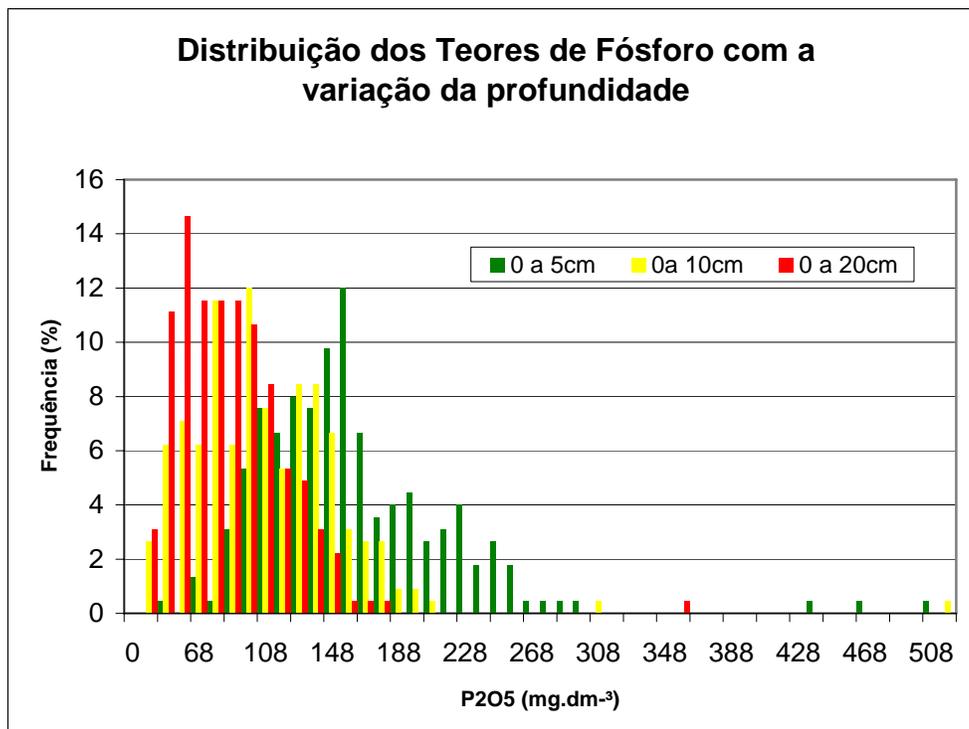


Tabela 6 – Estatística descritiva para os teores de fósforo nas diferentes profundidades de coleta de amostras.

Fósforo	Profundidade		
	0 a 5cm	0 a 10cm	0 a 20cm
Média (mg.dm ⁻³)	157.1	103.1	80.9
Mediana (mg.dm ⁻³)	148	97	75
Moda (mg.dm ⁻³)	153	126	51
Desvio padrão	60.0	49.9	34.2
Variância	3595.9	2485.9	1172.2
Curtose	8.7	25.0	17.8
Assimetria	2.1	3.3	2.6
Intervalo (mg.dm ⁻³)	466	506	331
Mínimo (mg.dm ⁻³)	39	30	26
Máximo (mg.dm ⁻³)	505	536	357

Gráfico 4 - Distribuição dos pH com a variação na profundidade de coleta de amostras.

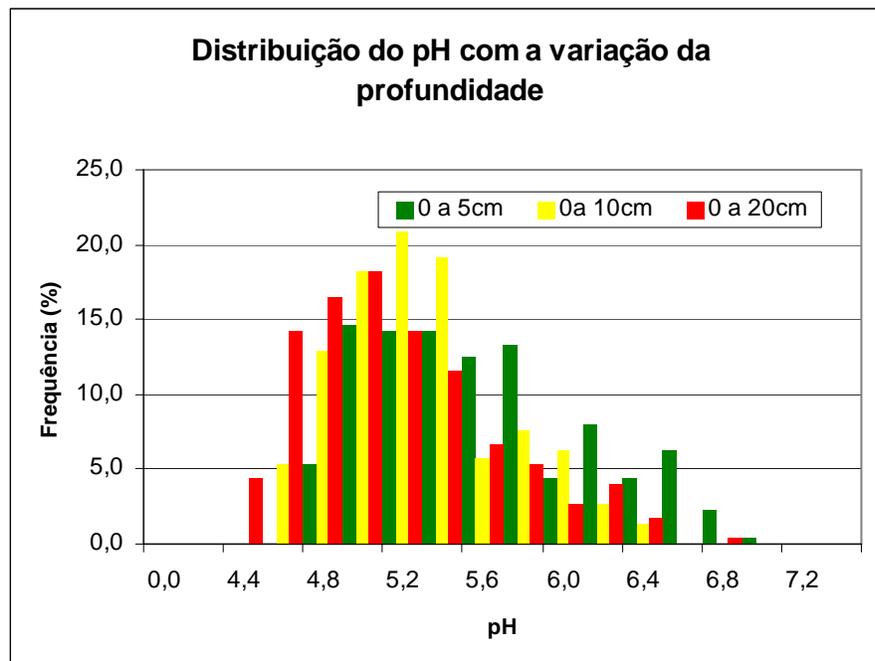


Tabela 7 – Estatística descritiva para o pH nas diferentes profundidades de coleta de amostras.

pH	Profundidade		
	0 a 5cm	0 a 10cm	0 a 20cm
Média	5.6	5.2	5.1
Mediana	5.5	5.2	5
Moda	5.6	5.4	4.9
Desvio padrão	0.5	0.4	0.5
Variância	0.3	0.2	0.2
Curtose	-0.6	-0.2	0.2
Assimetria	0.5	0.6	0.8
Intervalo	2.3	1.9	2.4
Mínimo	4.7	4.5	4.3
Máximo	7	6.4	6.7

Gráfico 5 - Distribuição dos teores de Matéria Orgânica com a variação na profundidade de coleta de amostras.

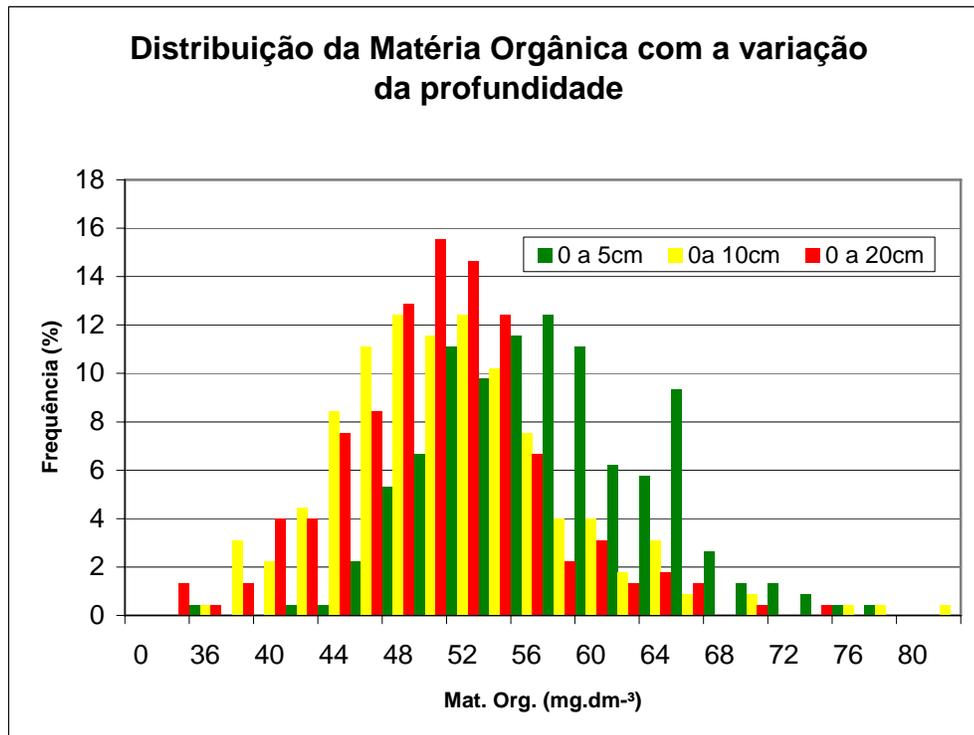


Tabela 8 – Estatística descritiva para os teores de Matéria Orgânica nas diferentes profundidades de coleta de amostras.

Mat. Orgânica	Profundidade		
	0 a 5cm	0 a 10cm	0 a 20cm
Média (mg.dm ⁻³)	57.2	50.4	49.9
Mediana (mg.dm ⁻³)	57	50	50
Moda (mg.dm ⁻³)	52	47	50
Desvio padrão	6.7	7.4	6.3
Variância	44.3	54.4	39.9
Curtose	0.2	3.5	1.2
Assimetria	0.2	1.1	0.2
Intervalo (mg.dm ⁻³)	42	53	44
Mínimo (mg.dm ⁻³)	36	36	29
Máximo (mg.dm ⁻³)	78	89	73

Gráfico 6- Distribuição dos teores de Potássio com a variação na profundidade de coleta de amostras.

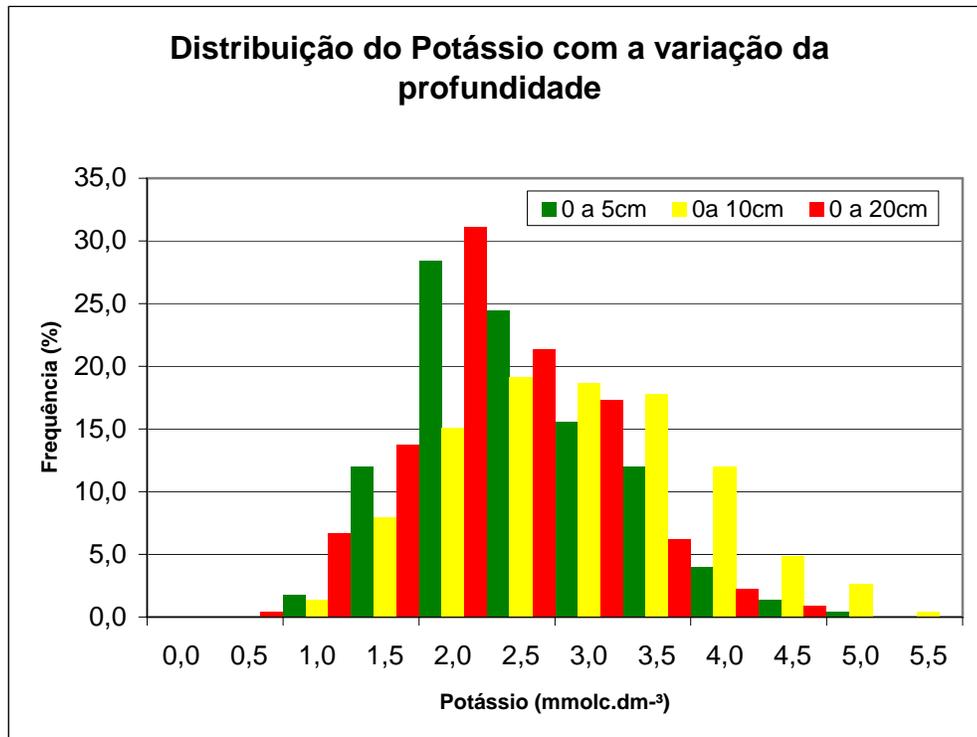


Tabela 9 – Estatística descritiva para os teores de Potássio nas diferentes profundidades de coleta de amostras.

Potássio	Profundidade		
	0 a 5cm	0 a 10cm	0 a 20cm
Média (mmolc.dm ⁻³)	2.3	2.7	2.1
Mediana (mmolc.dm ⁻³)	2.2	2.7	2
Moda (mmolc.dm ⁻³)	1.9	3.3	1.6
Desvio padrão	0.7	0.9	0.7
Variância	0.5	0.8	0.5
Curtose	0.1	-0.5	0.0
Assimetria	0.6	0.2	0.4
Intervalo (mmolc.dm ⁻³)	4	4.5	3.8
Mínimo (mmolc.dm ⁻³)	0.9	0.7	0.5
Máximo (mmolc.dm ⁻³)	4.9	5.2	4.3

Gráfico 7 - Distribuição dos teores de Magnésio com a variação na profundidade de coleta de amostras.

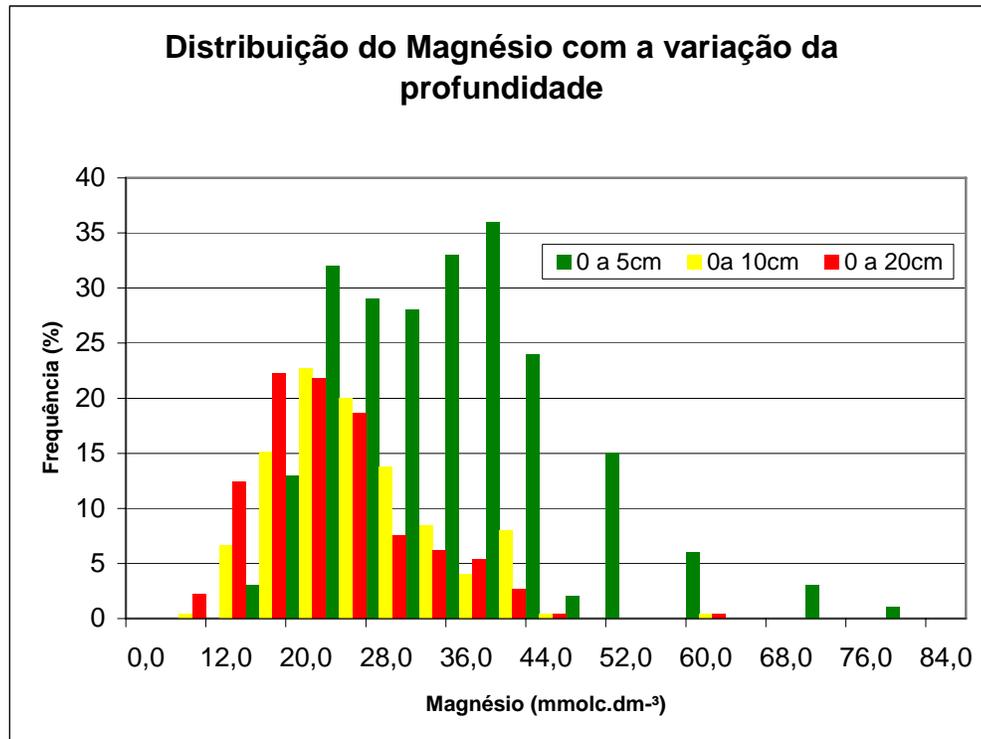


Tabela 10 – Estatística descritiva para os teores de Magnésio nas diferentes profundidades de coleta de amostras.

Magnésio	Profundidade		
	0 a 5cm	0 a 10cm	0 a 20cm
Média (mmolc.dm ⁻³)	34.1	22.7	20.1
Mediana (mmolc.dm ⁻³)	34	22	19
Moda (mmolc.dm ⁻³)	50	22	18
Desvio padrão	10.9	8.1	7.9
Variância	119.9	64.8	61.7
Curtose	1.8	1.3	2.4
Assimetria	1.0	0.9	1.2
Intervalo (mmolc.dm ⁻³)	66	52	52
Mínimo (mmolc.dm ⁻³)	14	8	8
Máximo (mmolc.dm ⁻³)	80	60	60

Gráfico 8 - Distribuição dos teores de Cálcio com a variação na profundidade de coleta de amostras.

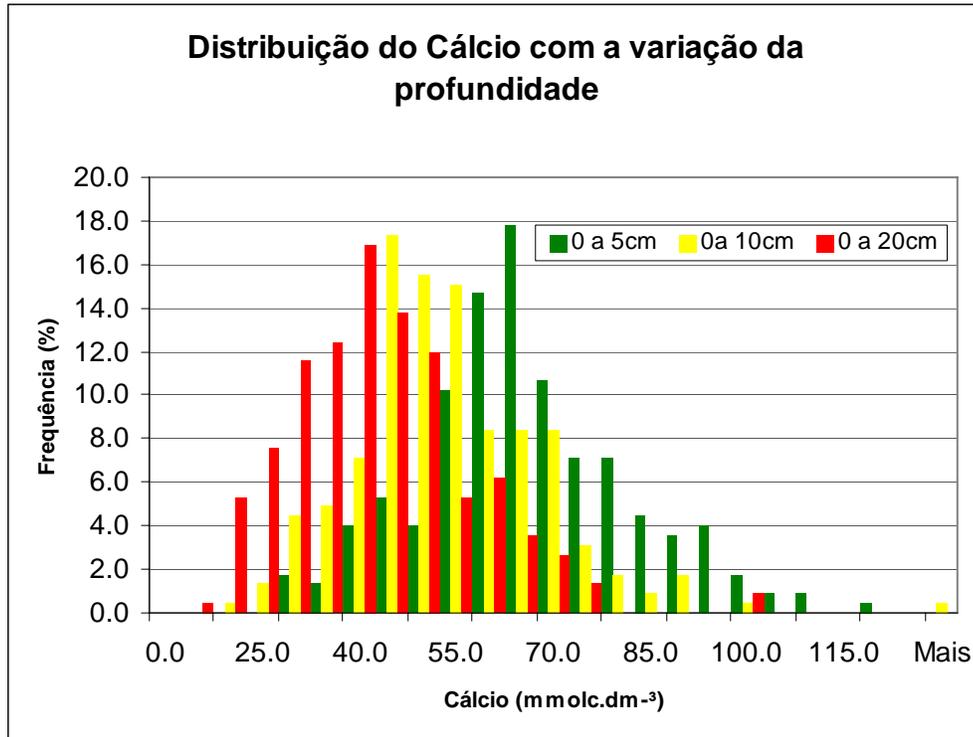


Tabela 11 – Estatística descritiva para os teores de Magnésio nas diferentes profundidades de coleta de amostras.

Cálcio	Profundidade		
	0 a 5cm	0 a 10cm	0 a 20cm
Média (mmolc.dm ⁻³)	64.5	51.9	40.7
Mediana (mmolc.dm ⁻³)	63	50	39
Moda (mmolc.dm ⁻³)	63	44	35
Desvio padrão	16.5	15.0	14.0
Variância	272.8	224.8	195.7
Curtose	0.3	4.8	1.8
Assimetria	0.4	1.2	0.9
Intervalo (mmolc.dm ⁻³)	92	120	85
Mínimo (mmolc.dm ⁻³)	28	20	15
Máximo (mmolc.dm ⁻³)	120	140	100

Gráfico 9 - Distribuição dos teores de Alumínio com a variação na profundidade de coleta de amostras.

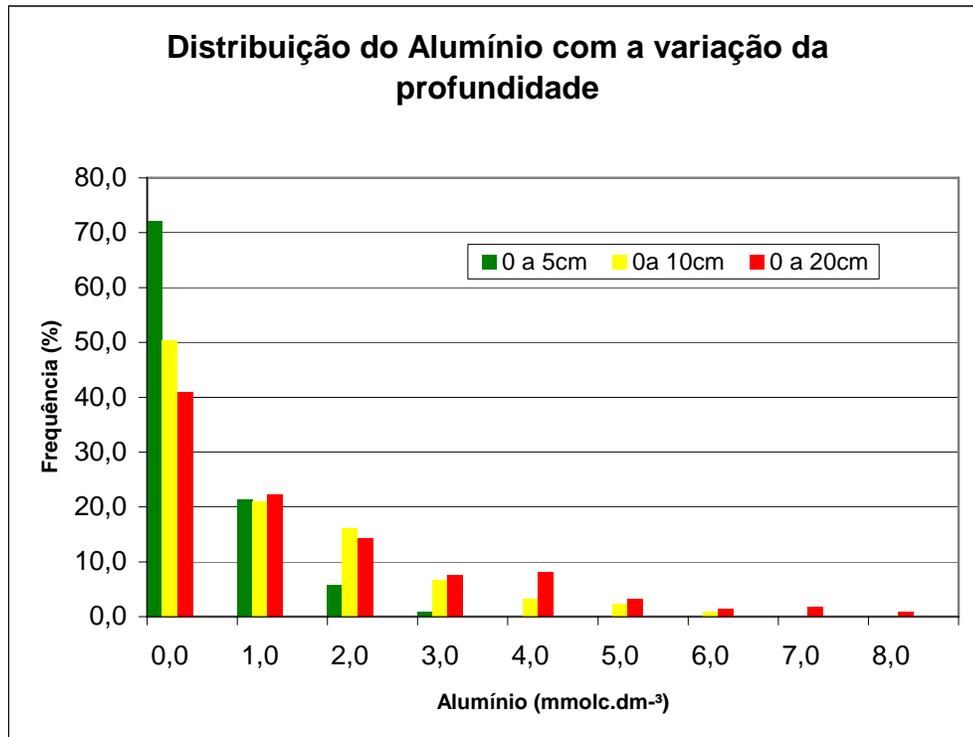


Tabela 12 – Estatística descritiva para os teores de Alumínio nas diferentes profundidades de coleta de amostras.

Alumínio	Profundidade		
	0 a 5cm	0 a 10cm	0 a 20cm
Média (mmolc.dm ⁻³)	0.4	1.0	1.5
Mediana (mmolc.dm ⁻³)	0	0	1
Moda (mmolc.dm ⁻³)	0	0	0
Desvio padrão	0.6	1.3	1.8
Variância	0.4	1.8	3.3
Curtose	2.8	1.8	1.7
Assimetria	1.8	1.5	1.4
Intervalo (mmolc.dm ⁻³)	3	6	8
Mínimo (mmolc.dm ⁻³)	0	0	0
Máximo (mmolc.dm ⁻³)	3	6	8

Gráfico 10- Distribuição dos teores de H+Al com a variação na profundidade de coleta de amostras.

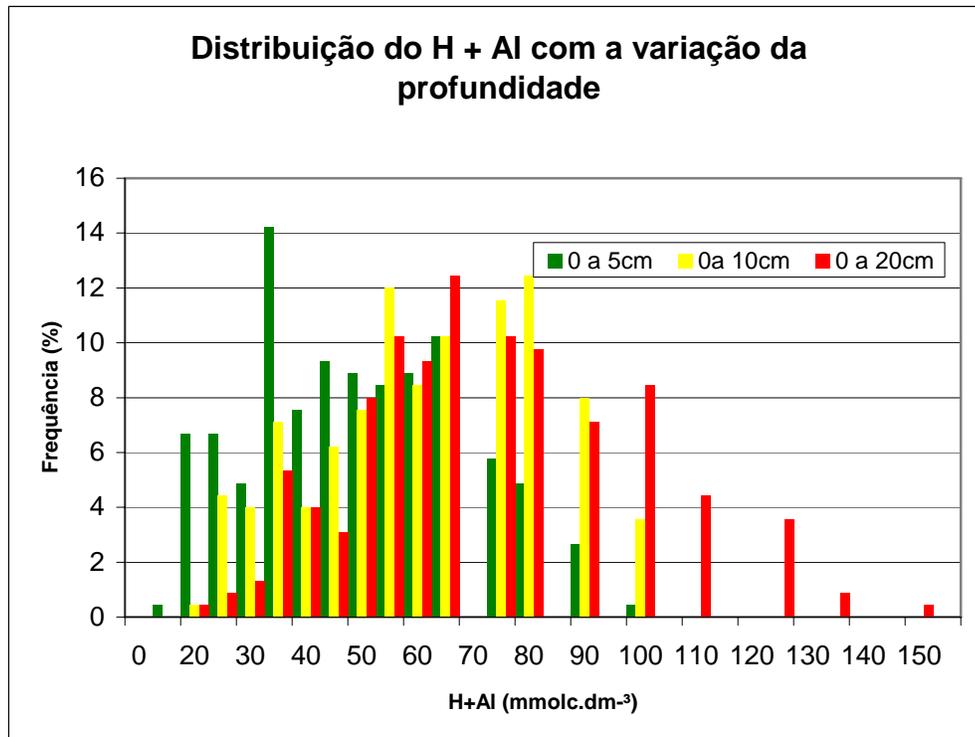


Tabela 13 – Estatística descritiva para os teores de H+Al nas diferentes profundidades de coleta de amostras.

H+Al	Profundidade		
	0 a 5cm	0 a 10cm	0 a 20cm
Média (mmolc.dm ⁻³)	46.9	58.8	68.4
Mediana (mmolc.dm ⁻³)	47	58	64
Moda (mmolc.dm ⁻³)	64	80	64
Desvio padrão	18.3	20.0	24.8
Variância	336.2	400.1	613.2
Curtose	-0.5	-0.9	0.0
Assimetria	0.4	0.0	0.6
Intervalo (mmolc.dm ⁻³)	83	78	130
Mínimo (mmolc.dm ⁻³)	15	20	20
Máximo (mmolc.dm ⁻³)	98	98	150

Gráfico 14 - Distribuição da Soma de Bases com a variação na profundidade de coleta das amostras.

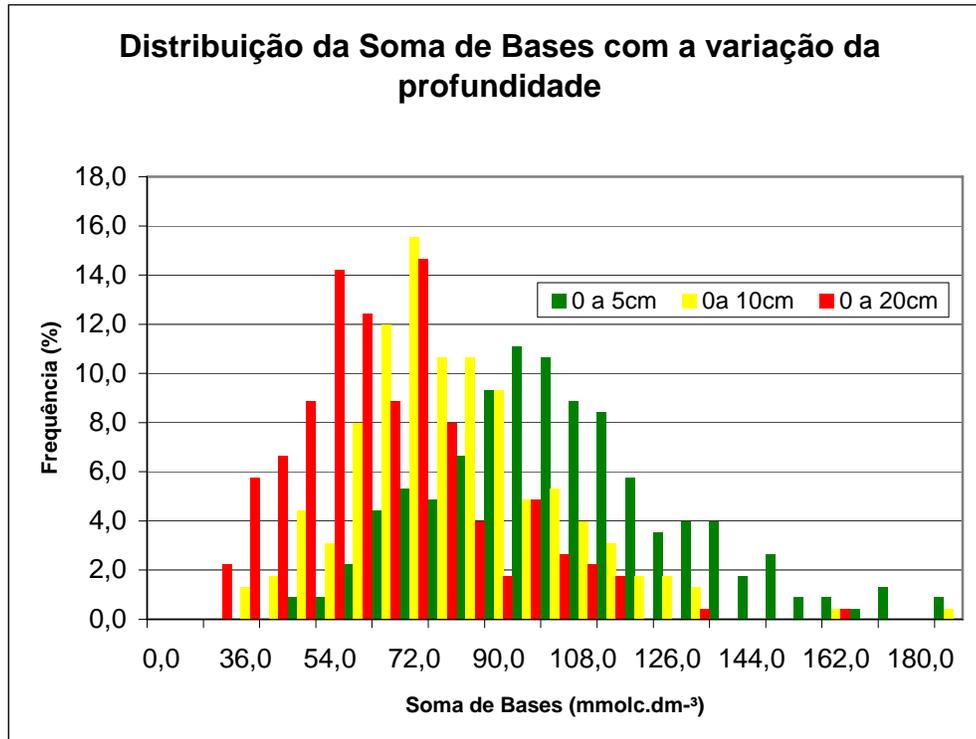


Tabela 14 – Estatística descritiva para a Soma de Bases nas diferentes profundidades de coleta de amostras.

Soma de Bases	Profundidade		
	0 a 5cm	0 a 10cm	0 a 20cm
Média (mmolc.dm ⁻³)	100.9	77.4	62.8
Mediana (mmolc.dm ⁻³)	98.6	73.5	59.6
Moda (mmolc.dm ⁻³)	98.9	66.3	75.1
Desvio padrão	26.3	22.1	21.0
Variância	693.1	487.0	441.5
Curtose	0.4	2.3	1.7
Assimetria	0.6	0.9	0.9
Intervalo (mmolc.dm ⁻³)	135.9	153.2	136.7
Mínimo (mmolc.dm ⁻³)	46.5	30.2	24.2
Máximo (mmolc.dm ⁻³)	182.4	183.4	160.9

Gráfico 12- Distribuição da Saturação por Bases com a variação na profundidade de coleta das amostras.

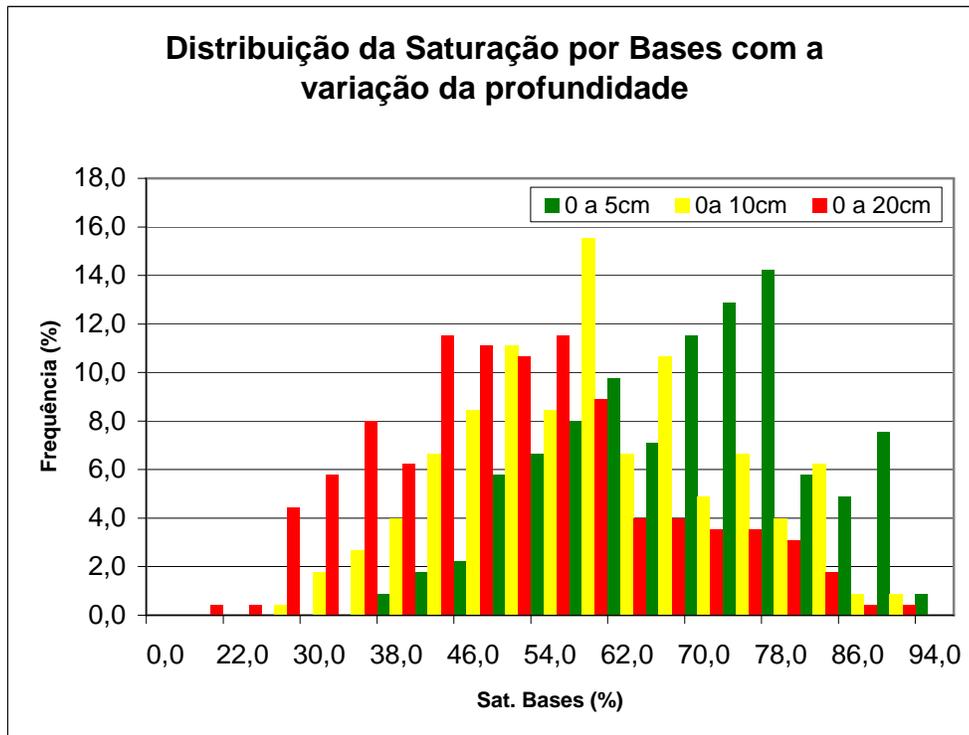


Tabela 15 – Estatística descritiva para a Saturação por Bases nas diferentes profundidades de coleta de amostras.

Sat. Bases	Profundidade		
	0 a 5cm	0 a 10cm	0 a 20cm
Média (%)	67.8	56.8	48.2
Mediana (%)	69	56	48
Moda (%)	76	58	49
Desvio padrão	12.7	13.8	14.5
Variância	160.9	189.5	210.6
Curtose	-0.7	-0.5	-0.3
Assimetria	-0.2	0.1	0.4
Intervalo (%)	55	65	71
Mínimo (%)	37	24	18
Máximo (%)	92	89	89

Gráfico 13 - Distribuição da CTC com a variação na profundidade de coleta das amostras.

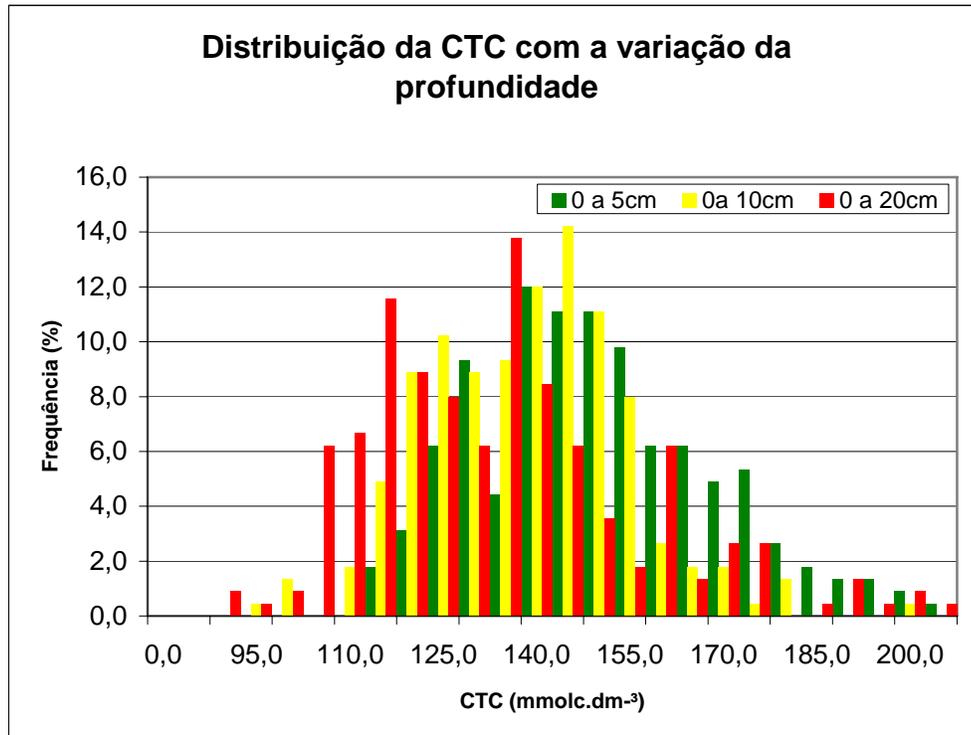


Tabela 16 – Estatística descritiva para a CTC nas diferentes profundidades de coleta de amostras.

CTC	Profundidade		
	0 a 5cm	0 a 10cm	0 a 20cm
Média (mmolc.dm ⁻³)	147.8	136.2	131.2
Mediana (mmolc.dm ⁻³)	145.5	137.2	130.5
Moda (mmolc.dm ⁻³)	138.8	137.3	113.6
Desvio padrão	18.9	16.7	22.1
Variância	356.0	278.2	489.4
Curtose	-0.2	1.5	0.6
Assimetria	0.5	0.5	0.8
Intervalo (mmolc.dm ⁻³)	90.4	114.2	117.9
Mínimo (mmolc.dm ⁻³)	112	94.2	85.8
Máximo (mmolc.dm ⁻³)	202.4	208.4	203.7

Gráfico 14 - Distribuição da Saturação por Alumínio com a variação na profundidade de coleta das amostras.

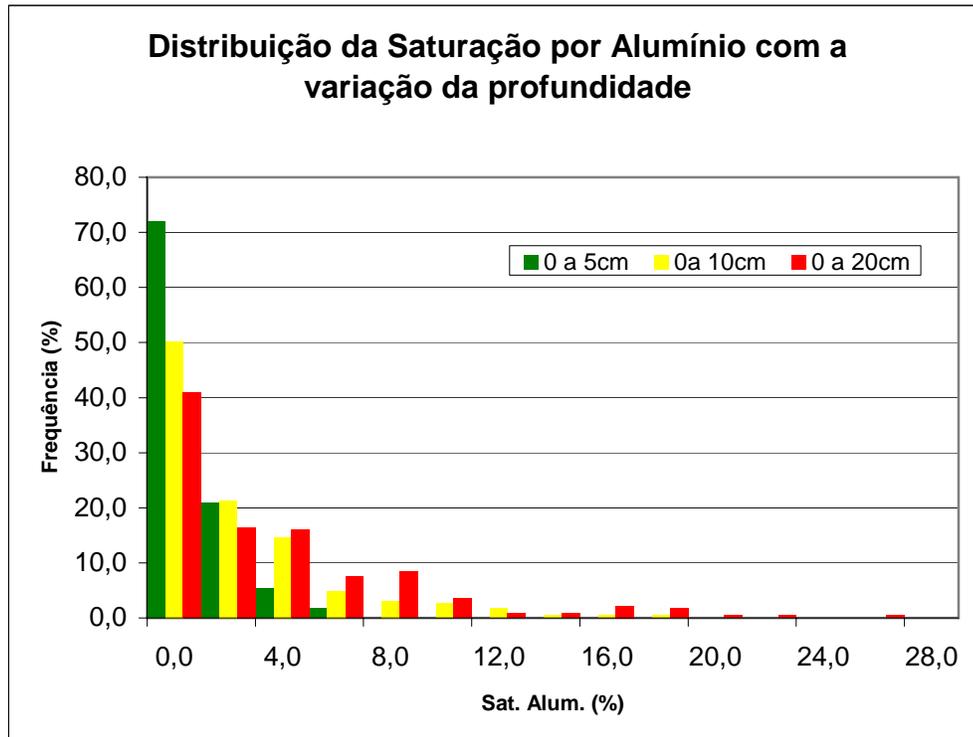


Tabela 17 – Estatística descritiva para a Saturação por Alumínio nas diferentes profundidades de coleta de amostras.

Sat. Alumínio	Profundidade		
	0 a 5cm	0 a 10cm	0 a 20cm
Média (%)	0.5	1.8	3.2
Mediana (%)	0	0	1.7
Moda (%)	0	0	0
Desvio padrão	0.9	2.9	4.5
Variância	0.9	8.2	20.3
Curtose	5.7	6.2	4.9
Assimetria	2.3	2.3	2.1
Intervalo (%)	4.8	16.6	25
Mínimo (%)	0	0	0
Máximo (%)	4.8	16.6	25

A amostragem foi realizada com o intuito de conhecer detalhadamente a distribuição horizontal e vertical dos teores de nutrientes na área. Não há hoje uma metodologia considerada padrão ou mais adequada para a retirada de amostras de solo sob o sistema de

Plantio Direto, este foi um dos motivos para a realização da amostragem em diferentes profundidades.

Estudo da Variabilidade - Espacializada

Mapas de Produtividade

Os dados utilizados na confecção dos mapas de produtividade foram obtidos com a utilização de uma colhedora SLC-John Deere - 1185 equipada com o sistema Green Star. Embora o sistema seja bastante preciso foi necessário eliminar um número significativo de erros, o que foi feito com a utilização do algoritmo desenvolvido com esta finalidade.

Os mapas de produtividade são representados de três maneiras principais: mapas de pontos (figura 19) mapas de quadrículas (figura 20) e mapas de contorno. Na avaliação e interpretação de um mapa de produtividade deve se ter bastante cuidado. Um mesmo conjunto de dados pode gerar diferentes mapas de acordo com os métodos de interpolação, intervalos para as classes e até mesmo com as cores utilizadas. Em sua tese de doutorado, MOORE 1997, apresenta uma série de recomendações para a confecção e interpretação dos mapas. Nos mapas aqui apresentados procurou-se seguir estas recomendações a fim de que se pudesse ter confiabilidade nos resultados para sua posterior utilização em correlações e outras avaliações.

Os mapas de pontos compreendem a informação mais pura e simples que se pode obter no monitoramento da produtividade, é uma informação livre de manipulação e, portanto a mais confiável. Infelizmente não se pode trabalhar somente com mapas de pontos pois estes não permitem que sejam realizadas operações entre os diferentes mapas. No SIG, para a realização do cruzamento de informações, é necessário que se obtenha uma superfície, um plano de informações onde se tem coordenadas conhecidas de modo que é possível sobrepor vários planos.

É necessário produzir mapas de quadrículas, com a utilização de interpolação produz-se uma superfície composta por células com coordenadas conhecidas e com valores calculados para o fator estudado com base em pontos ao redor.

Os mapas de quadrículas foram produzidos utilizando-se o método de interpolação *inverso da distância*, é o método recomendado para conjuntos de dados densos, quando se tem abundância de pontos amostrais.

Nas próximas páginas estão apresentados os mapas obtidos a partir dos dados após a eliminação de erros.

Figura 6 – Mapa de produtividade em pontos para a cultura da soja colhida em 1999.

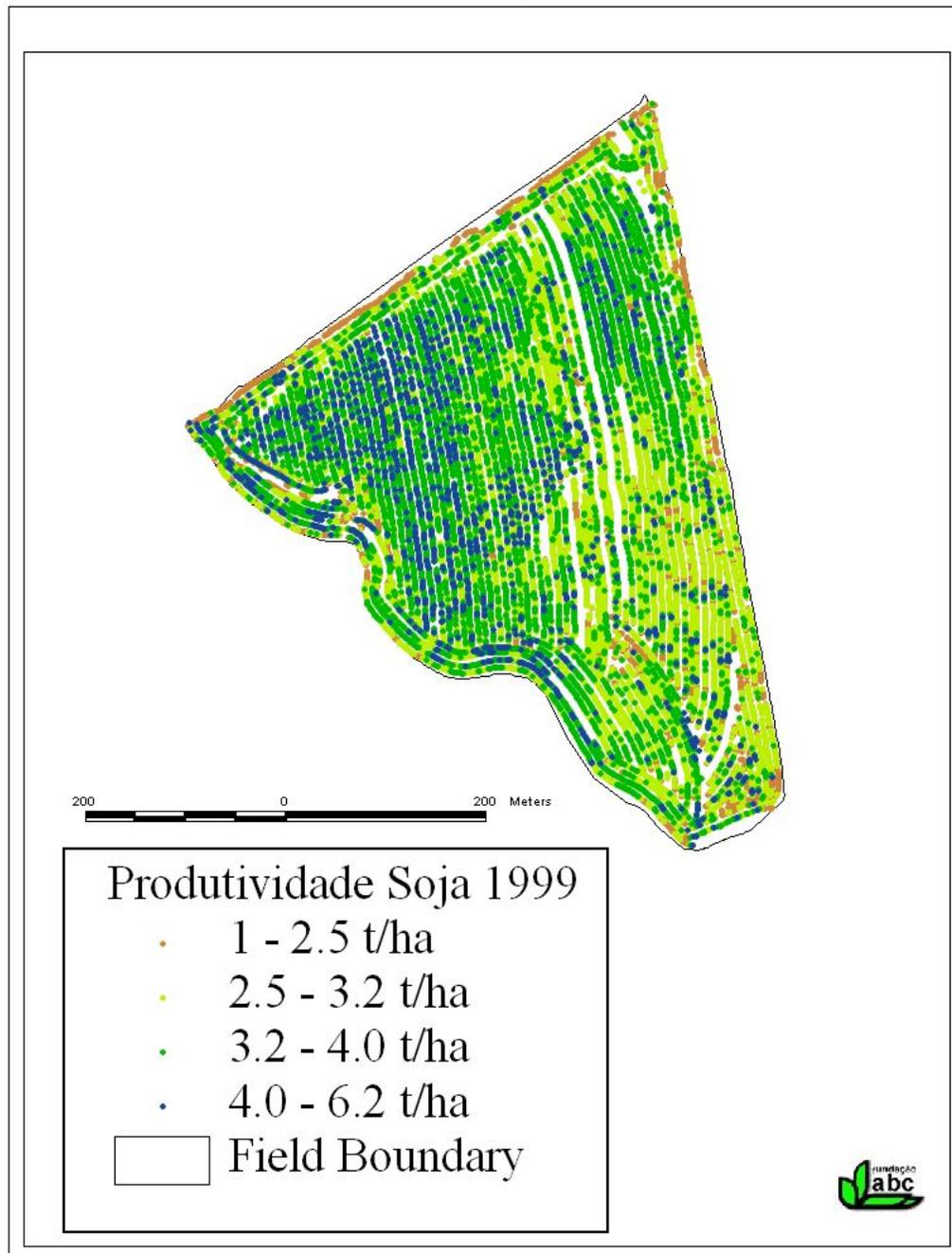


Figura 7 – Mapa de produtividade em quadrículas para a cultura da soja colhida em 1999.

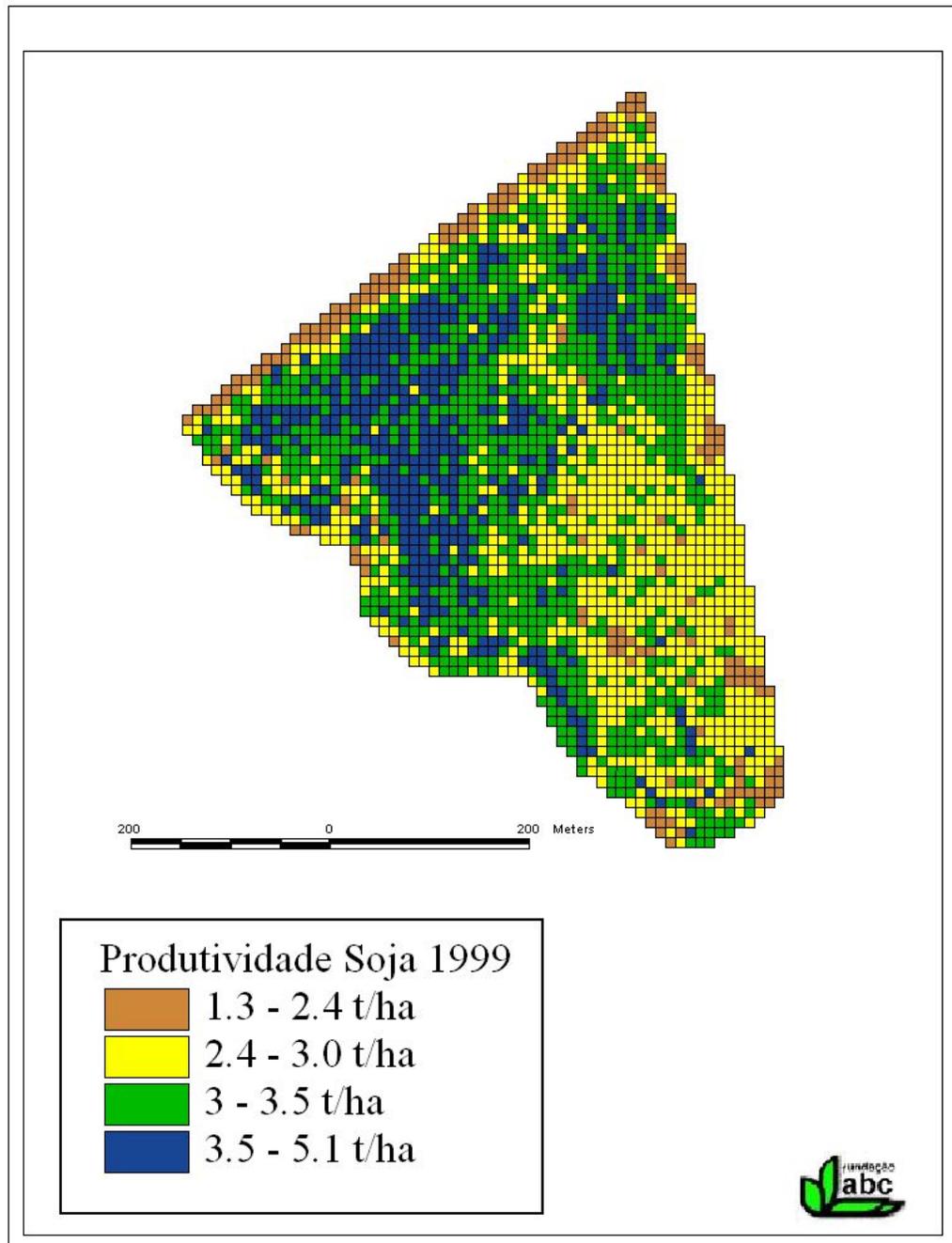


Figura 8 – Mapa de produtividade em pontos para a cultura do milho colhido em 2000.

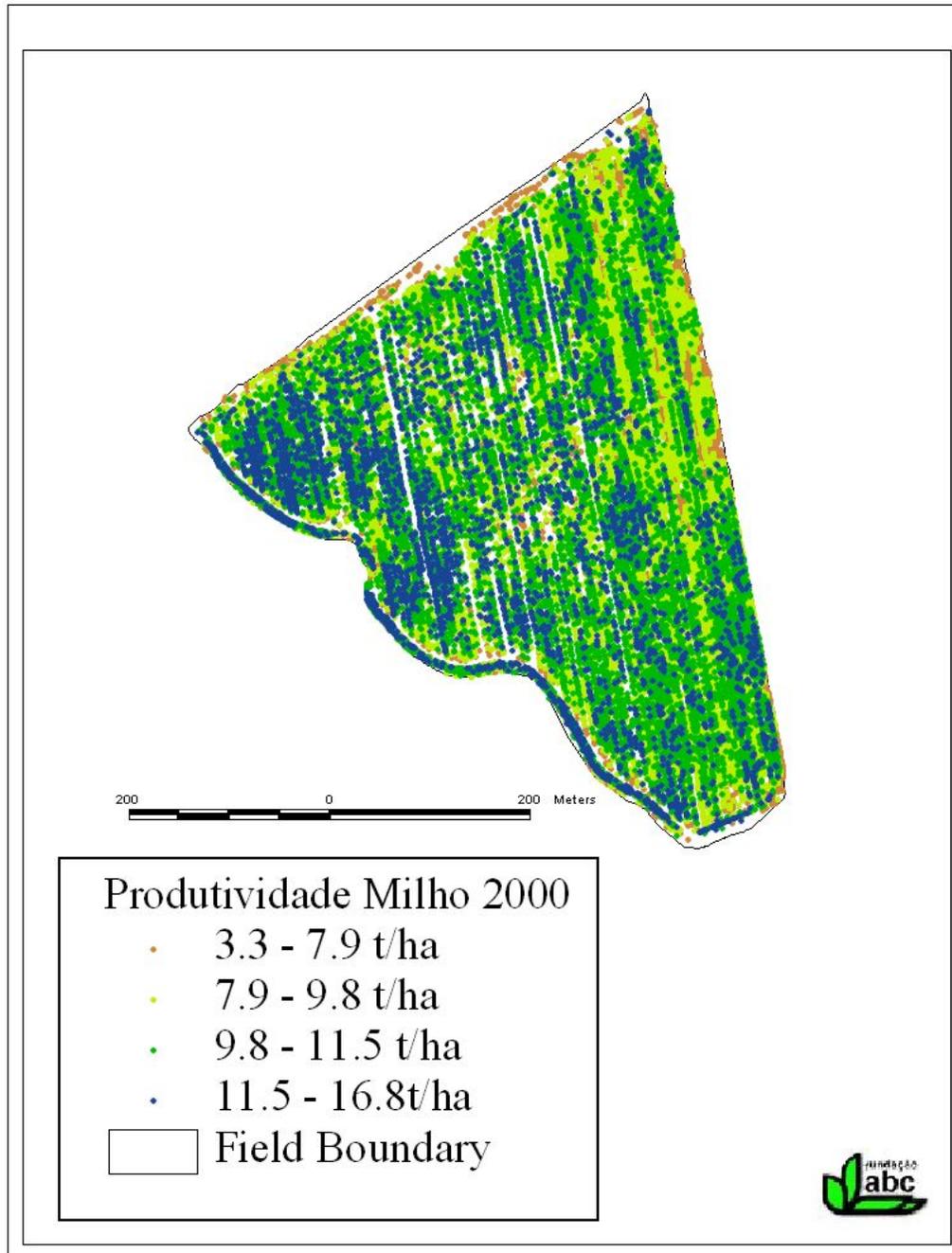


Figura 9 – Mapa de produtividade em quadrículas para a cultura do milho colhido em 2000.

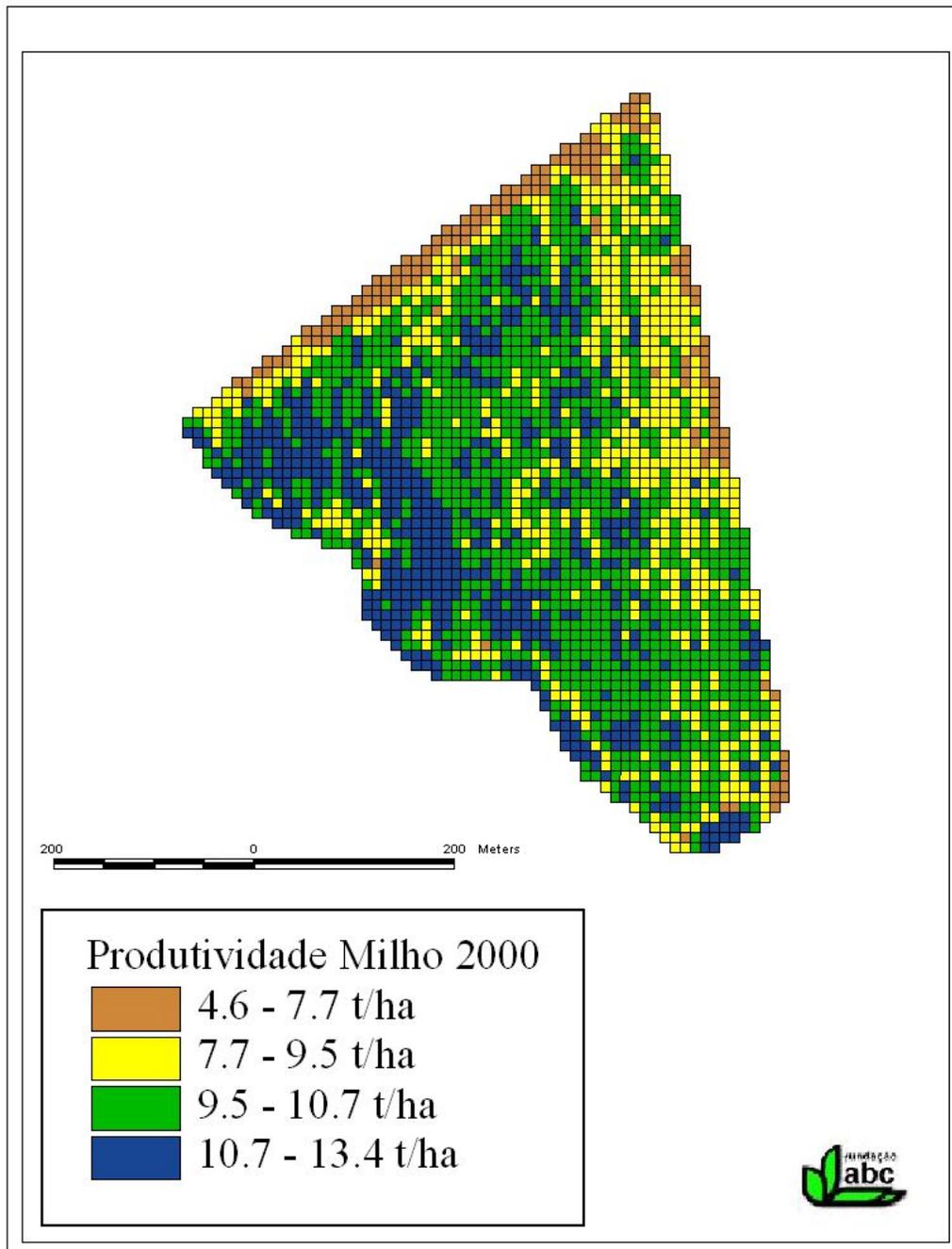
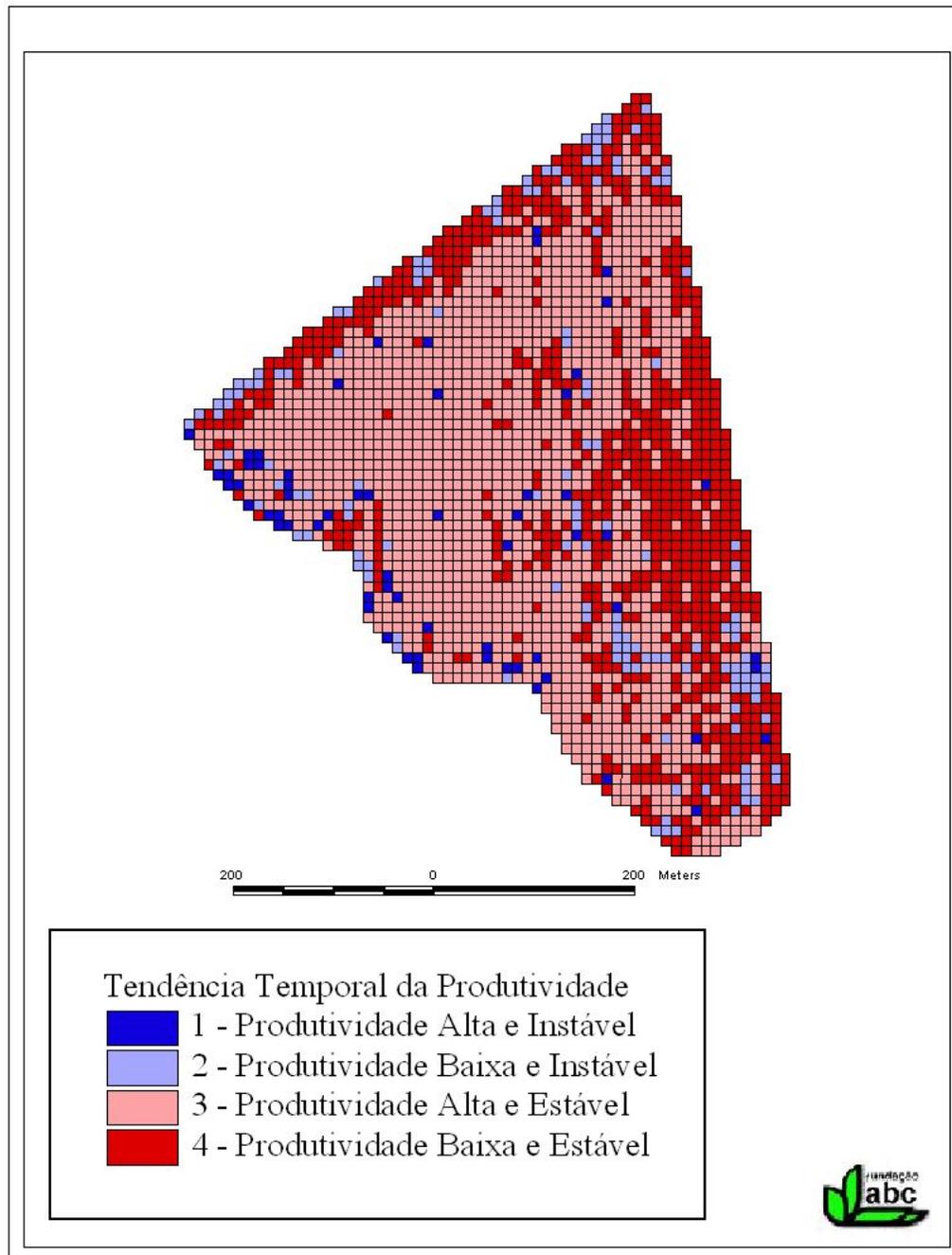


Figura 10 – Mapa de tendência temporal da produtividade.



Os mapas de produtividade foram produzidos com cores e intervalos de classes para refletir da melhor maneira a variabilidade presente na área, objetivo final de todo mapa. As quadrículas representam uma área de 10x10m e como dito foram obtidas mediante interpolação.

Na interpretação dos mapas é importante notar se há continuidade entre as diferentes classes, ou seja, se não ocorrem manchas de classes muito distantes fazendo divisa. Isto deve ser levado em conta tanto nos mapas de quadrículas como nos mapas de pontos. A interpretação de um mapa de quadrícula deve ser sempre que possível realizada com o auxílio de um mapa de pontos o que pode ajudar a delimitar melhor as manchas de produtividade diferente.

Nos mapas apresentados acima há um grande número de manchas que por vezes tornam difícil a interpretação. Em uma primeira etapa pode ser realizada uma avaliação visual, procurando estabelecer grandes regiões com características semelhantes, as chamadas unidades de manejo. A observação de um só mapa torna difícil estabelecer se ocorre de fato uma tendência em determinada região de produzir mais ou menos, a confirmação desta tendência deve ser realizada com a utilização de dois ou mais mapas. Esta comparação pode ser feita primeiro visualmente e depois com a utilização do SIG pode ser realizado o cruzamento de informações entre os mapas para a obtenção de um mapa de tendência de produtividade. A figura 23 representa o mapa de tendência da produtividade na área estudada e foi produzido com base nos mapas apresentados, as quadrículas dos mapas de produtividade foram comparadas uma a uma e foi determinado se a produtividade era alta, baixa e se havia estabilidade nesta produtividade. Estabeleceu-se como regra que um C.V. (coeficiente de variação) abaixo de 20% e produtividade (rendimento relativo) acima de 80% representariam quadrículas de alta produtividade e que esta produtividade seria estável. Com esta regra foram obtidas 4 classes representando a tendência da produtividade juntamente com sua estabilidade.

Os mapas de tendência da produtividade são tanto mais confiáveis quanto forem o número de camadas de informação utilizadas. Na medida em que são sobrepostos mapas de produtividade pode-se ter mais segurança em dizer que uma região apresente determinado comportamento.

Ao se tomar os mapas da área estudada nota-se que há duas regiões com comportamentos diferentes quanto a produtividade e uma vez que o manejo adotado ao longo de anos foi o mesmo faz-se necessário identificar qual ou quais fatores inerentes ao talhão poderiam estar causando a diferença na produtividade.

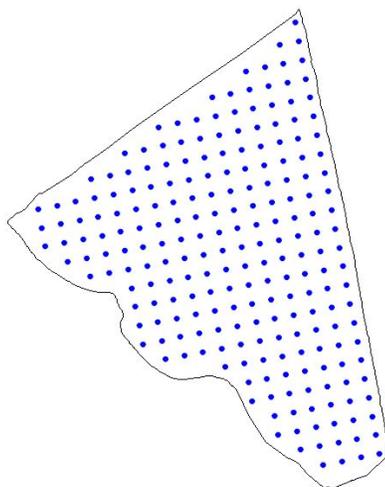
Estudo da Variabilidade - Espacializada

Mapas de Fertilidade Química

A variabilidade presente na produtividade é o resultado da variabilidade presente em cada um dos fatores de produção. Uma vez que os tratamentos utilizados foram sempre os mesmos em toda a área, podemos supor que o que deve estar causando a variabilidade é um fator intrínseco ao próprio talhão.

A fertilidade química do solo pode ser um dos fatores que causa variabilidade na produtividade e deve ser estudada. Foi realizada a amostragem de solo em grade como apresentado abaixo (figura 24) em três profundidades distintas. Com os dados da análise química de solo foram produzidos os mapas apresentados nas páginas seguintes.

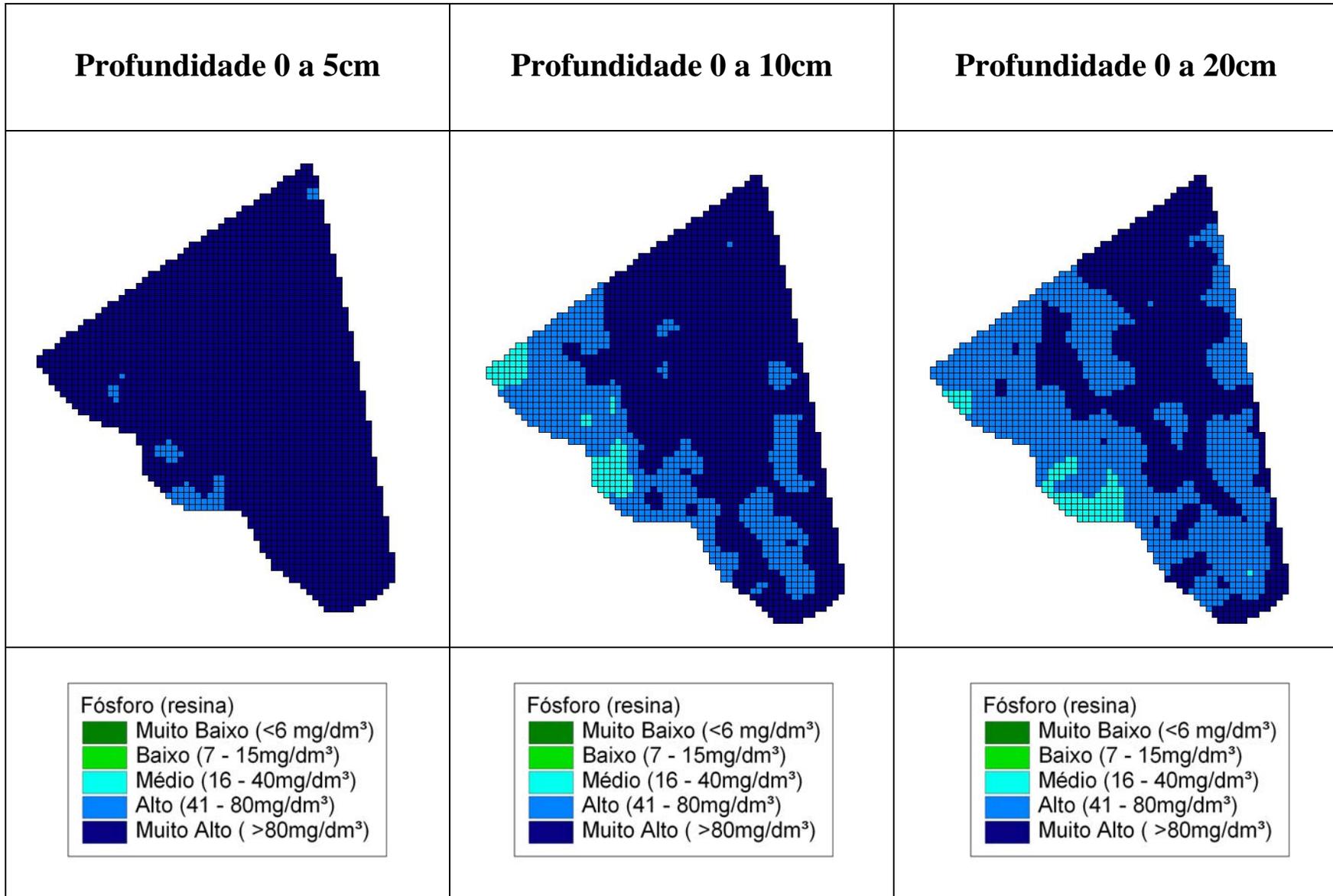
Figura 11 – grade utilizada na coleta de amostras de solo.

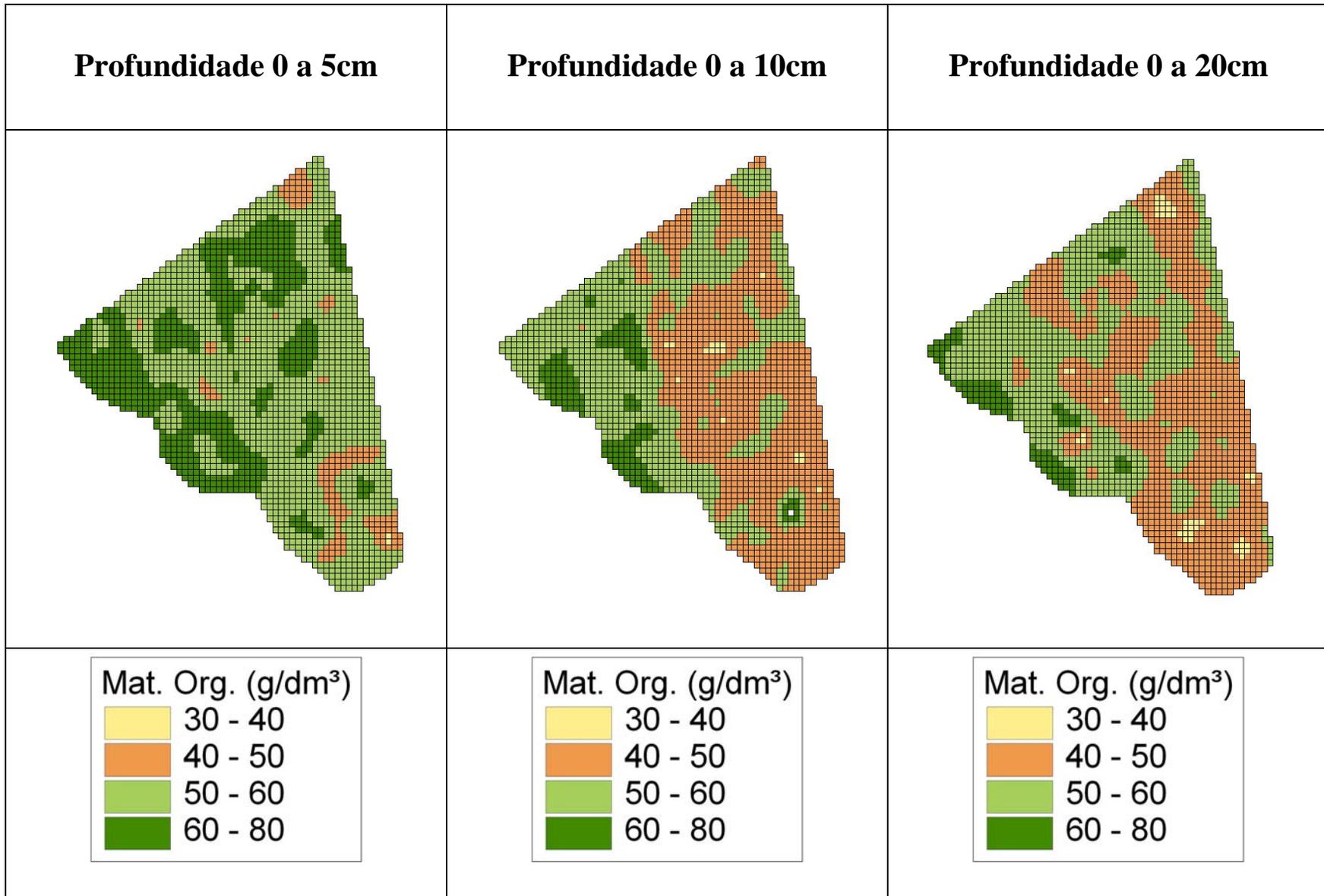


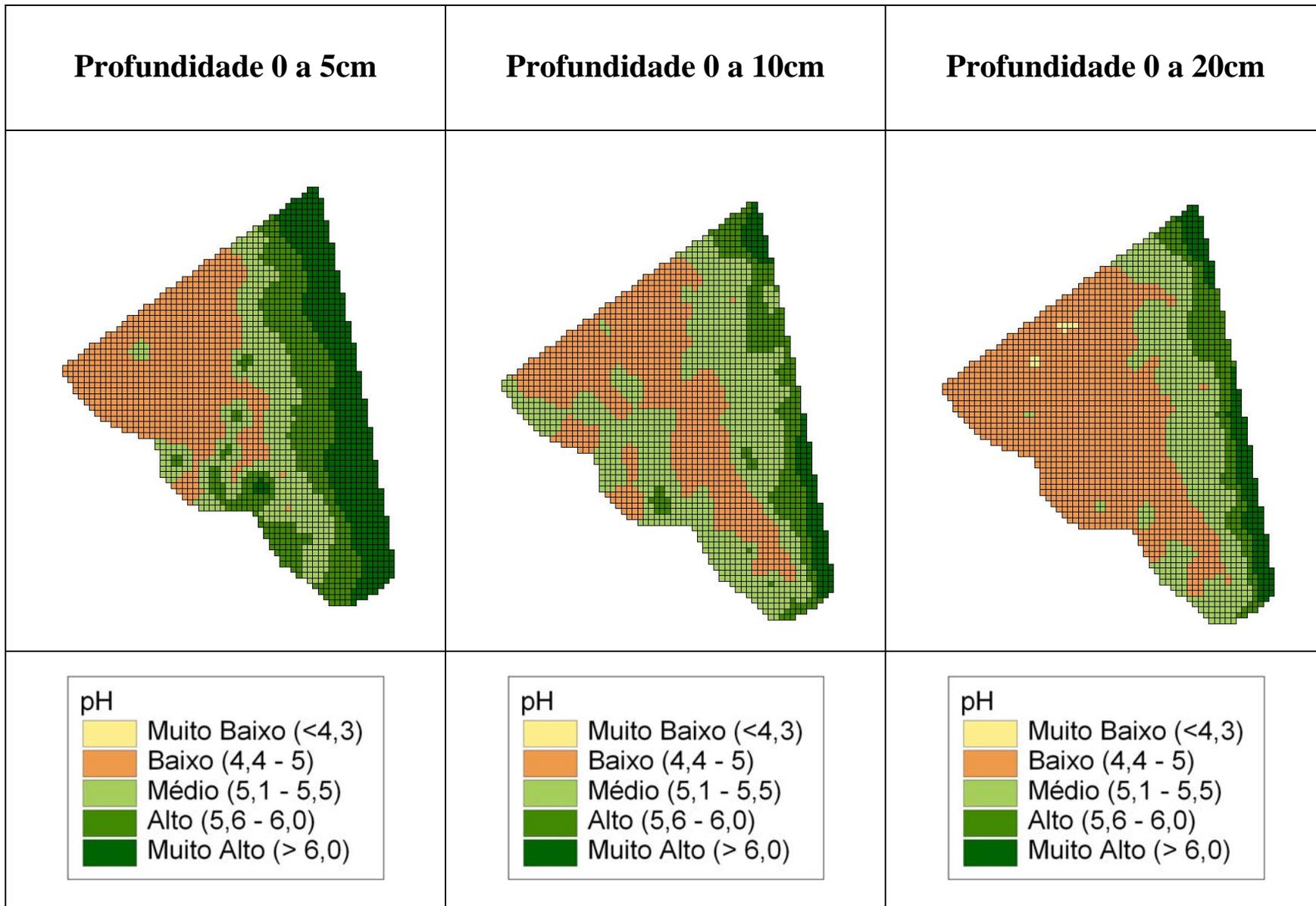
- Número de Amostras - 225
- Espaçamento entre Amostras – 30m
- Profundidades de Amostragem :
0 a 5cm / 0 a 10cm / 0 a 20cm
- Número de Sub amostras/Amostra - 8

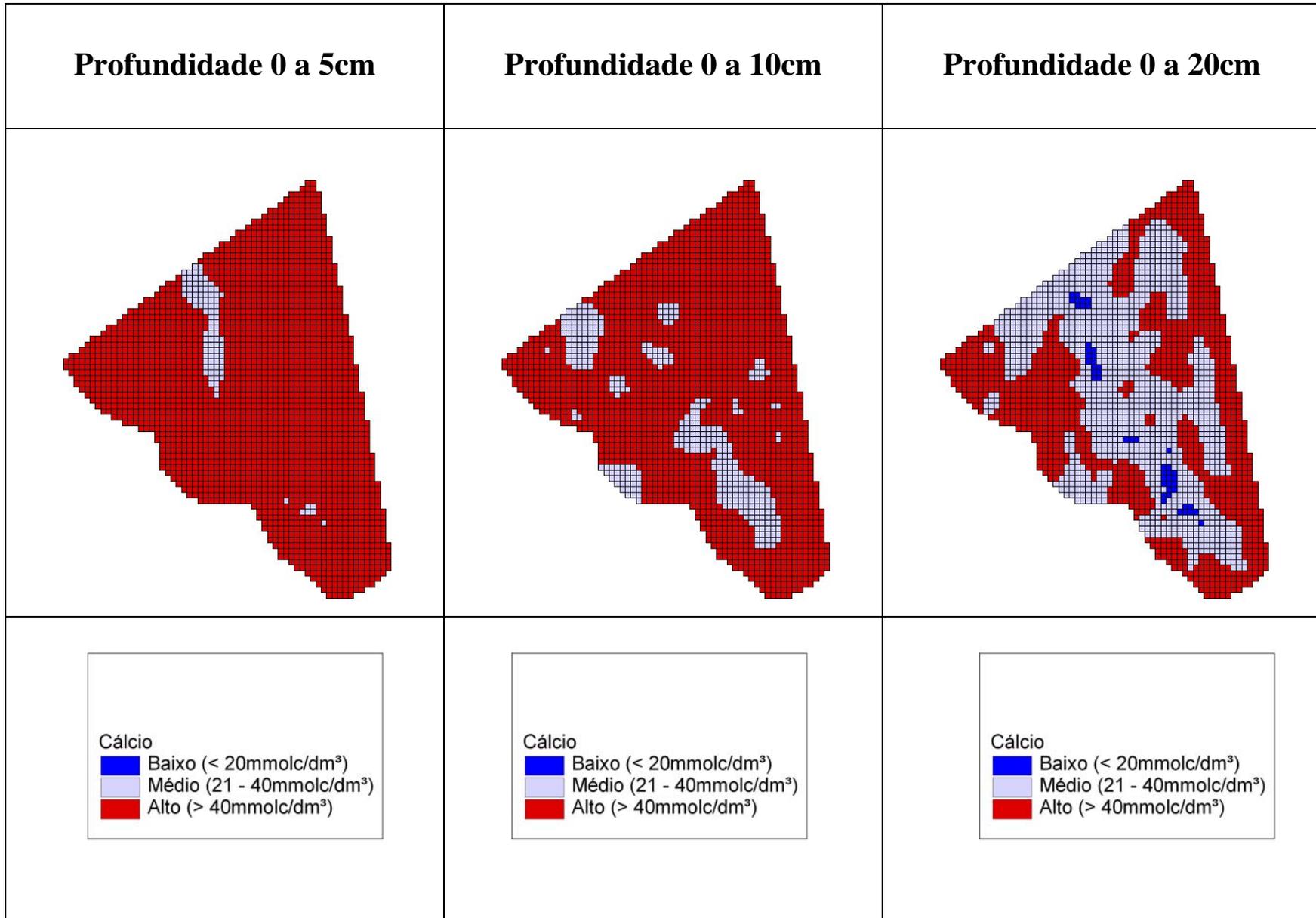
O método de interpolação utilizado foi a krigagem sendo estimados os parâmetros para o uso do interpolador com a utilização da técnica de geoestatística. As quadrículas representam uma área de 0,01ha (10x10m) e os intervalos de classe utilizados são aqueles propostos pela pesquisa local.

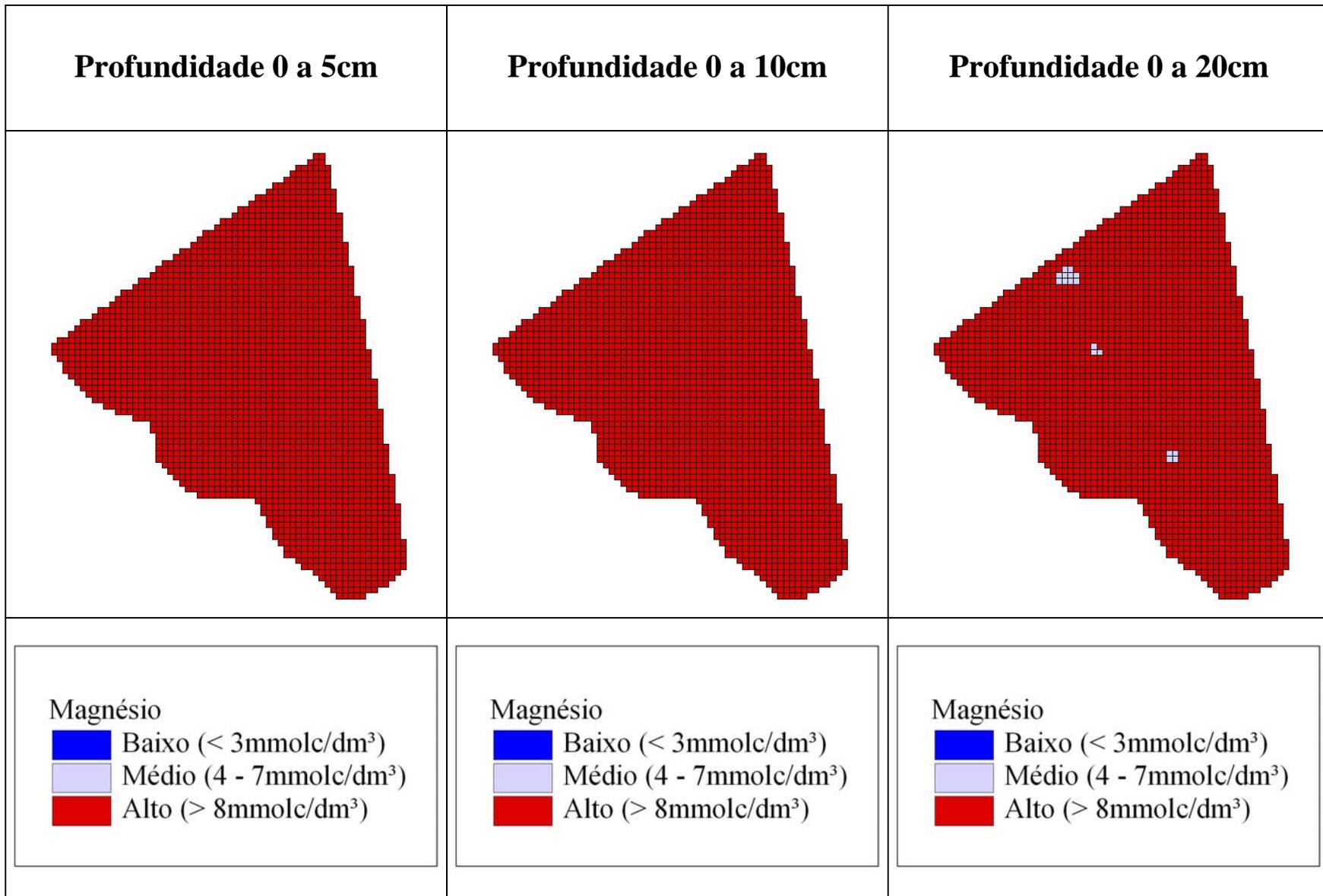
Nas páginas seguintes são apresentados os mapas de fertilidade química do solo obtidos.

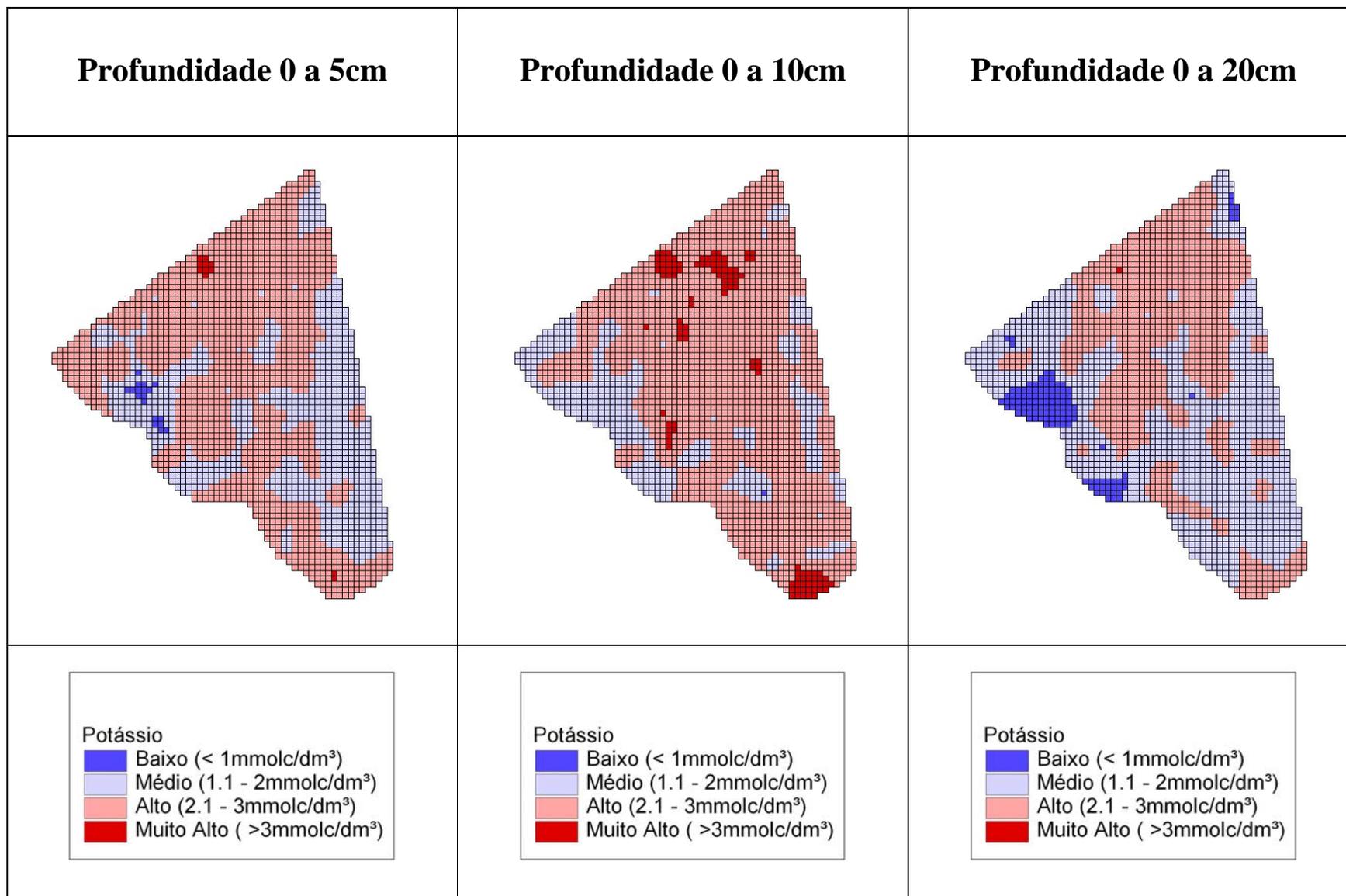


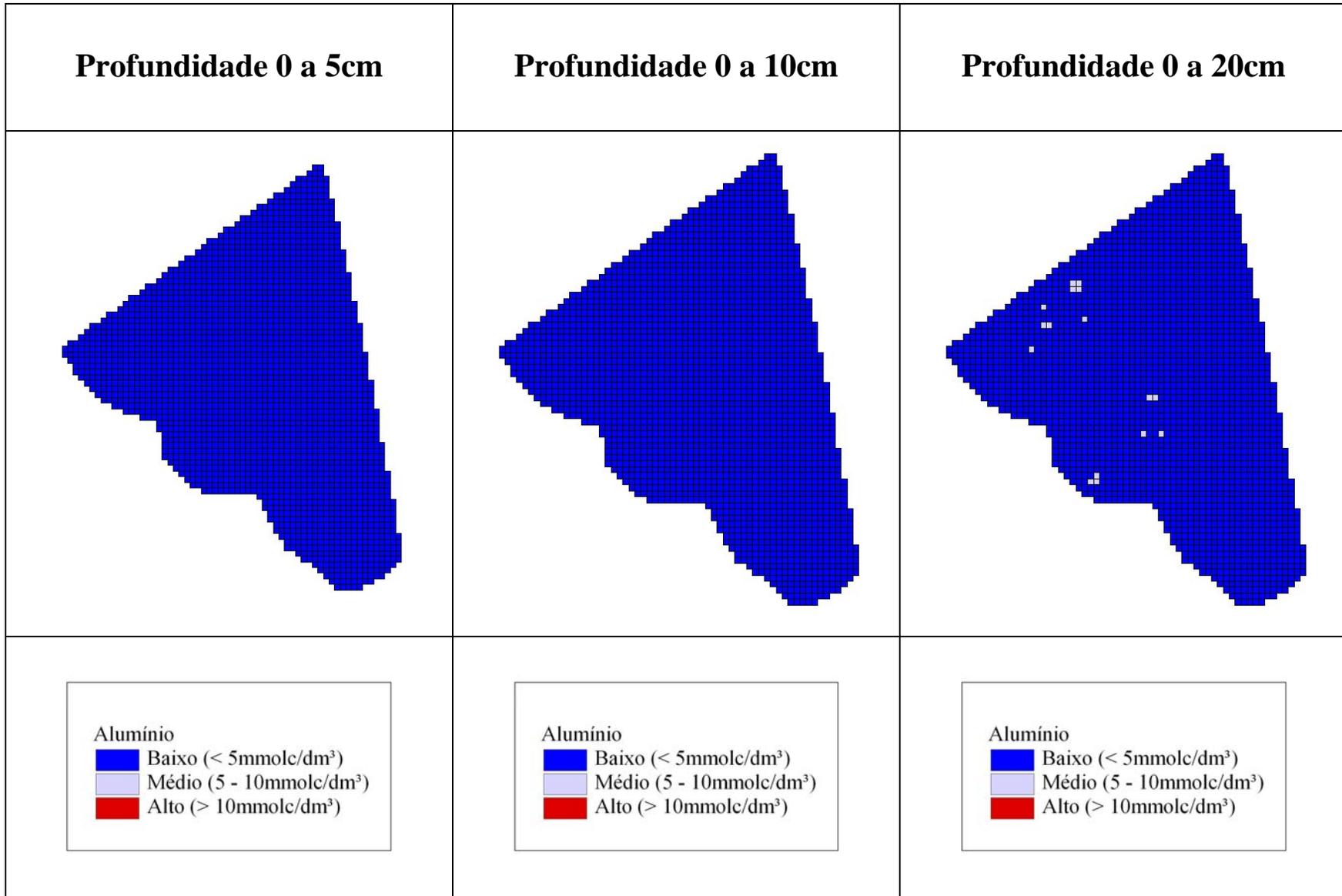


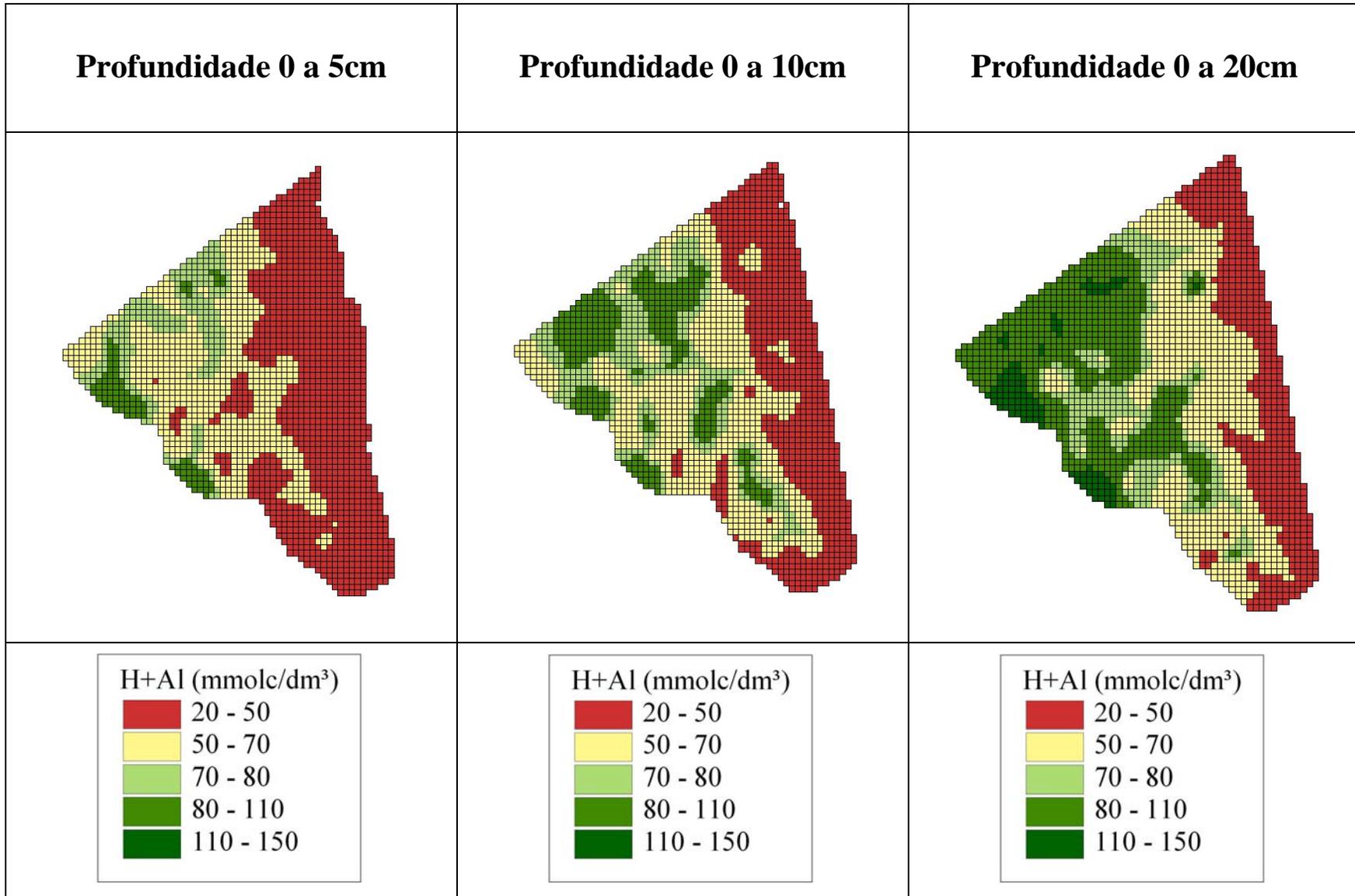


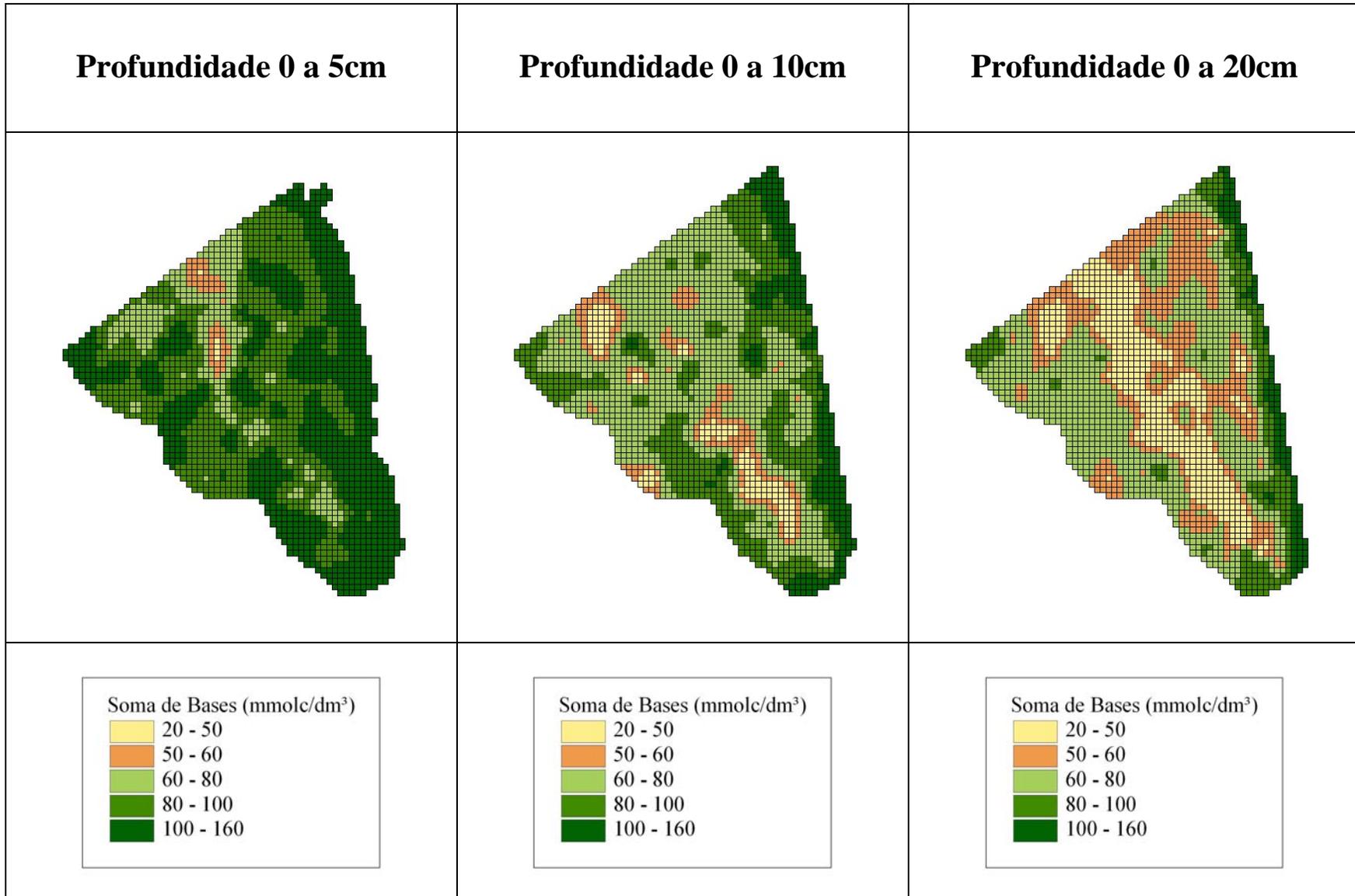


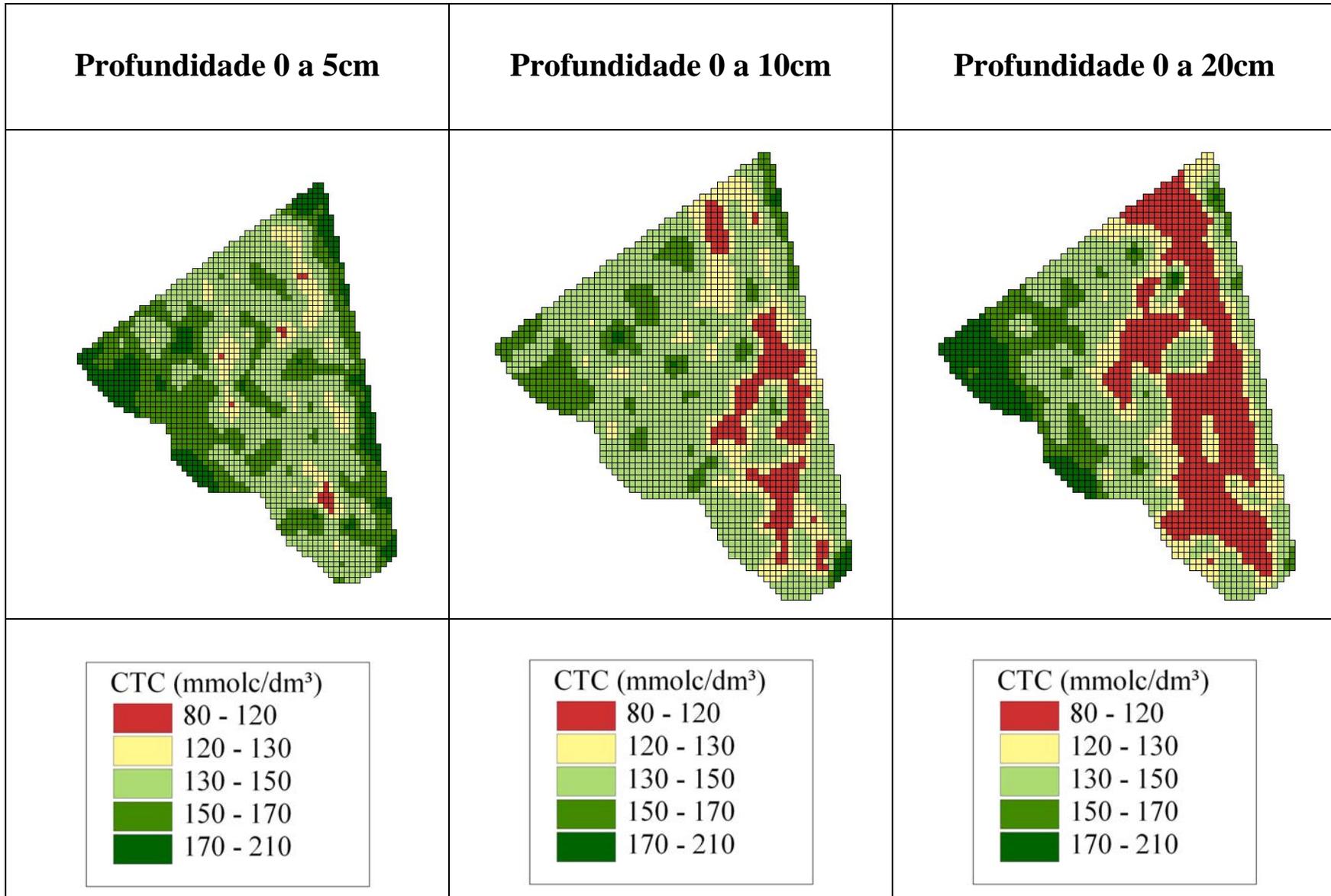


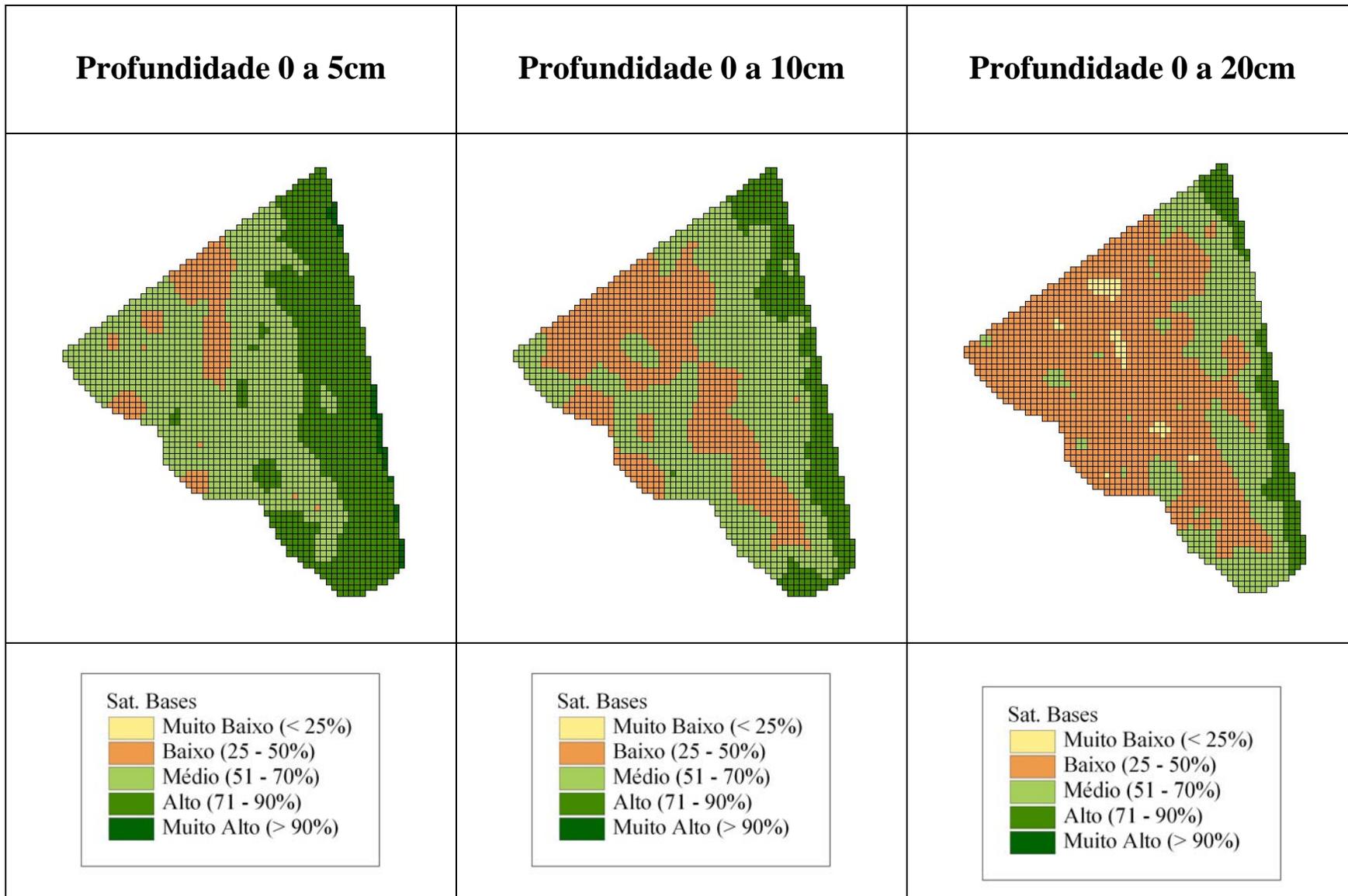


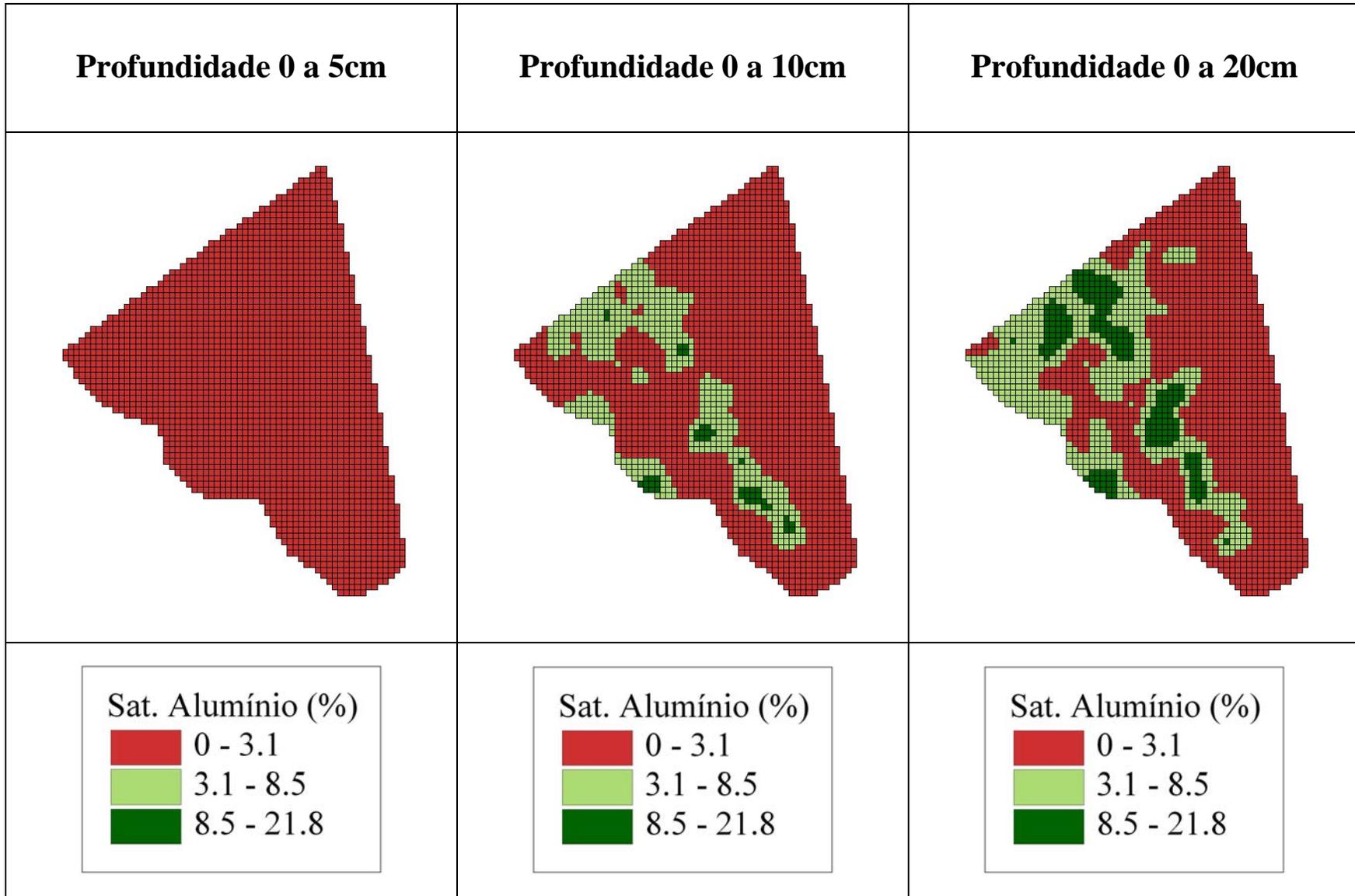












Seguindo as recomendações para a interpretação dos mapas de produtividade, também nos mapas de fertilidade devemos atentar para as classes, e se ocorre salto de uma classe para outra distante. Devido ao fato de ocorrer escassez de dados para a realização das interpolações (os pontos estão distantes), é necessário utilizar a krigagem e geoestatística para assegurar que os mapas reflitam com o maior grau de fidelidade possível a distribuição dos nutrientes. A geoestatística é uma ciência que estuda a dependência espacial que um determinado fator apresenta e a krigagem é um método de interpolação que utiliza parâmetros da geoestatística.

A avaliação visual dos mapas de fertilidade química e sua comparação com os mapas de produtividade e de tendência da produtividade não permitiram concluir sobre a influência de um ou outro fator isolado para a produtividade das culturas. Podemos entretanto extrair destes mapas uma série de informações importantes como a variabilidade presente na área em termos quantitativos e qualitativos. A disponibilidade de mapas para diferentes profundidades permite também observar a variabilidade e distribuição dos nutrientes ao longo do perfil do solo. Embora o desejável fosse a realização de amostragem estratificada (0 a 5cm, 5 a 10cm e 10 a 20cm ao invés de 0 a 5cm, 0 a 10cm e 0 a 20cm), a amostragem permitiu observar significativas alterações no teor de nutrientes com o aumento da profundidade, os teores dos nutrientes decrescem rapidamente em profundidade, este acúmulo de nutrientes em camadas superficiais é um aspecto bastante discutido pelos pesquisadores em fertilidade do solo.

A interpretação dos mapas levando em conta conceitos da fertilidade leva a algumas hipóteses. A observação de somente um mapa não é suficiente para estabelecer relações, mas quando se observa os mapas de H+Al, cálcio, pH, soma de bases e saturação por bases juntos, pode-se supor que o que influenciou a produtividade foi o excesso de nutrientes. Nas regiões onde os teores de nutrientes são mais elevados a produtividade apresenta-se menor. Uma explicação para as menores produtividades é que pode estar ocorrendo um excesso de nutrientes na camada superficial, forçando o sistema radicular a se desenvolver superficialmente e tornando a planta sensível à falta de água.

Outra possibilidade é a de que o excesso de determinados nutrientes como o cálcio e o magnésio podem estar causando desequilíbrios nutricionais ou impedindo a absorção de outros nutrientes.

Entendendo a Variabilidade

A associação da variabilidade da produção com a variabilidade de fatores como os nutrientes presentes no solo pode ser realizada de várias maneiras, desde interpretações visuais até métodos matemáticos como correlações simples, regressões múltiplas e modelagem podem ser utilizados.

Quando o fator estudado é a fertilidade química do solo, são obtidas correlações baixas com grande frequência. Os estudos demonstram que na maioria das vezes é difícil isolar um determinado fator e afirmar que este é responsável pela variabilidade. De fato, se atentarmos para a complexidade do sistema solo-água-plantas, com todas suas interações conhecidas e sabendo que há outras que ainda não foram explicadas, seria muita pretensão imaginar que poderíamos explicar a variabilidade em função de um ou outro fator. Por este motivo é que a modelagem tem adquirido grande importância em agricultura de precisão; modelos mecanísticos que permitem incluir no processo de análise os conhecimentos de várias áreas da ciência são os mais promissores.

Na análise dos dados de fertilidade e produtividade da área estudada foram experimentadas diferentes metodologias.

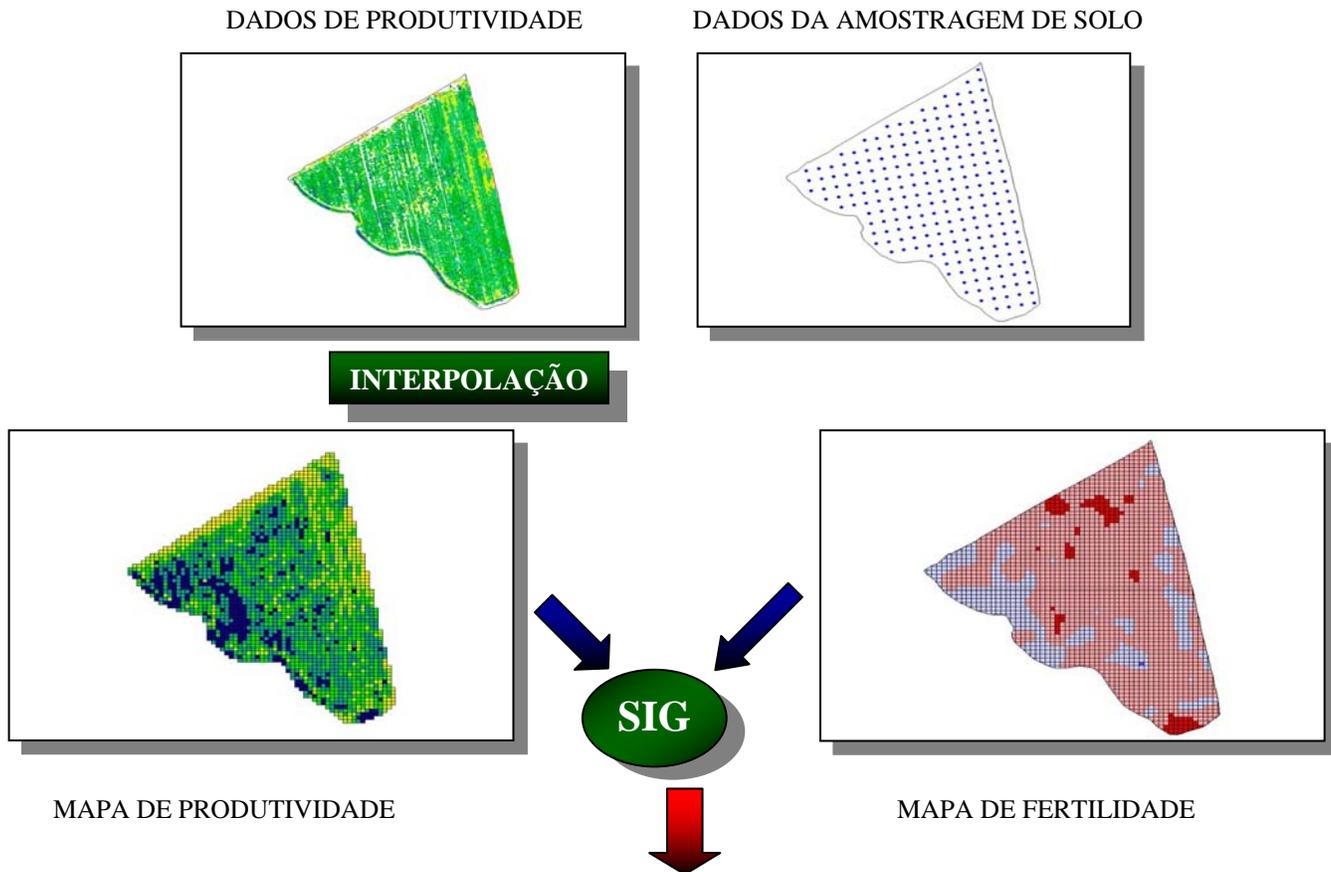
Correlações Entre Produtividade e Teores de Nutrientes no Solo

Foram realizadas correlações simples entre cada um dos nutrientes e a produtividade das culturas nos dois anos. O estudo procurou não somente apresentar resultados de correlação mas também verificar se ocorria variação nos coeficientes obtidos com a variação da profundidade de coleta das amostras de solo e também com o aumento da área amostral tomada para a amostragem.

Foram utilizados os mapas de produtividade dos dois anos e os mapas de fertilidade para 10 nutrientes em três profundidades. Nos mapas de quadrículas as células possuem um valor estimado para o fator estudado. Com a utilização do SIG os vários mapas, foram unidos para a obtenção de um único plano de informações onde cada célula possui os valores de todos os fatores estudados. Os dados presentes neste plano de

informação foram utilizados para a realização das correlações, abaixo está representada a metodologia utilizada.

Figura 12 – Representação da metodologia utilizada para a obtenção dos dados utilizados nas correlações.



LONGITUDE	LATITUDE	Produtividade	Fósforo	Mat. Org.	pH
-49.9337208	-24.8548790	1.807	98.1	51.4	5.4
-49.9341136	-24.8551520	2.301	83.3	50.6	5.4
-49.9306768	-24.8547880	2.527	81.2	51.0	5.4
-49.9349974	-24.8557890	2.652	79.9	49.8	5.3
-49.9316588	-24.8536050	2.731	76.9	48.7	5.4
-49.9329353	-24.8544240	2.798	77.0	49.7	5.3
-49.9337208	-24.8549700	2.866	80.0	50.0	5.2
-49.9320515	-24.8538780	2.926	83.3	49.7	5.3
-49.9341136	-24.8552430	2.978	81.2	50.3	5.2
-49.9338190	-24.8549700	3.033	80.0	50.2	5.1

As informações foram organizadas em uma tabela com colunas para a produtividade e para cada um dos nutrientes em cada uma das profundidades consideradas. A seguir classificou-se os dados em ordem de produtividade mantendo-se amarradas as informações dos nutrientes com as de produtividade. As quadrículas possuem área de 0,01ha (10x10m), a variação da área amostral foi realizada através da obtenção da média de mais de uma quadrícula em ordem de produtividade. Foram

realizadas correlações para as áreas amostrais de 0,01ha, 0,5ha, 1ha, 2ha e 5ha utilizando-se portanto 1, e a média de 50, 100, 200 e 500 quadrículas como informação para cada ponto utilizado na correlação. Os resultados obtidos estão relacionados nas tabelas abaixo.

Tabela 18 – Coeficientes de correlação entre a produtividade da soja e os nutrientes na prof.de 0 a 5cm.

Soja 1999 - Profundidade 0 a 5cm					
	5ha	2ha	1ha	0,5ha	0,01ha
Fósforo	0,290	-0,287	-0,374	-0,254	-0,051
Mat.Org.	0,980	0,872	0,776	0,753	0,323
pH	-0,994	-0,877	-0,852	-0,813	-0,385
Potássio	0,973	0,790	0,684	0,666	0,257
Cálcio	-0,995	-0,899	-0,850	-0,825	-0,366
Magnésio	-0,997	-0,885	-0,838	-0,812	-0,399
H+Al	0,994	0,852	0,832	0,780	-0,351
Soma Bases	-0,996	-0,894	-0,846	-0,821	-0,384
Sat. Bases	-0,997	-0,869	-0,843	-0,801	-0,372
CTC	-0,815	-0,444	-0,125	-0,205	-0,043

Tabela 19 – Coeficientes de correlação entre a produtividade da soja e os nutrientes na prof. de 0 a 10cm.

Soja 1999 - Profundidade 0 a 10cm					
	5ha	2ha	1ha	0,5ha	0,01ha
Fósforo	-0,785	-0,567	-0,523	-0,468	-0,107
Mat.Org.	0,943	0,767	0,746	0,729	0,321
pH	-0,970	-0,851	-0,819	-0,772	-0,323
Potássio	0,998	0,633	0,470	0,325	0,066
Cálcio	-0,787	-0,737	-0,724	-0,665	-0,205
Magnésio	-0,915	-0,826	-0,798	-0,750	-0,273
H+Al	0,995	0,866	0,837	0,796	0,347
Soma Bases	-0,848	-0,782	-0,763	-0,709	-0,236
Sat. Bases	-0,975	-0,855	-0,828	-0,783	-0,312
CTC	0,833	0,740	0,722	0,702	0,343

Tabela 20 – Coeficientes de correlação entre a produtividade da soja e os nutrientes na prof. de 0 a 20cm.

Soja 1999 - Profundidade 0 a 20cm					
	5ha	2ha	1ha	0,5ha	0,01ha
Fósforo	-0,895	-0,714	-0,611	-0,548	-0,115
Mat.Org.	0,966	0,842	0,775	0,713	0,256
pH	-0,991	-0,878	-0,852	-0,814	-0,385
Potássio	0,963	0,807	0,735	0,631	0,185
Cálcio	-0,926	-0,823	-0,783	-0,731	0,258
Magnésio	-0,967	-0,872	-0,840	-0,801	-0,342
H+Al	0,993	0,854	0,822	0,779	0,349
Soma Bases	-0,942	-0,850	-0,817	-0,771	-0,296
Sat. Bases	-0,989	-0,876	-0,846	-0,804	-0,359
CTC	0,815	0,692	0,667	0,633	0,238

Tabela 21 – Coeficientes de correlação entre a produtividade do milho e os nutrientes na prof. de 0 a 5cm.

Milho 2000 - Profundidade 0 a 5cm					
	5ha	2ha	1ha	0,5ha	0,01ha
Fósforo	-0,753	-0,669	-0,736	-0,680	-0,233
Mat.Org.	0,565	0,638	0,730	0,657	0,226
pH	-0,896	-0,874	-0,867	-0,829	-0,389
Potássio	-0,360	-0,472	-0,478	-0,378	-0,045
Cálcio	-0,947	-0,916	-0,865	-0,829	-0,322
Magnésio	-0,879	-0,872	-0,853	-0,803	-0,284
H+Al	0,829	0,816	0,828	0,781	0,334
Soma Bases	-0,927	-0,907	-0,869	-0,828	-0,314
Sat. Bases	-0,864	-0,847	-0,843	-0,798	-0,329
CTC	-0,624	-0,054	0,234	0,148	0,061

Tabela 22 – Coeficientes de correlação entre a produtividade do milho e os nutrientes na prof. de 0 a 10cm.

Milho 2000 - Profundidade 0 a 10cm					
	5ha	2ha	1ha	0,5ha	0,01ha
Fósforo	-0,878	-0,822	-0,807	-0,795	-0,292
Mat.Org.	0,520	0,607	0,630	0,645	0,271
pH	-0,923	-0,898	-0,855	-0,814	-0,347
Potássio	-0,440	-0,528	-0,561	-0,593	-0,167
Cálcio	-0,951	-0,925	-0,880	-0,831	-0,368
Magnésio	-0,944	-0,904	-0,855	-0,801	-0,332
H+Al	0,902	0,879	0,849	0,823	0,375
Soma Bases	-0,947	-0,918	-0,873	-0,825	-0,367
Sat. Bases	-0,924	-0,900	-0,865	-0,832	-0,387
CTC	0,501	0,552	0,544	0,560	0,204

Tabela 23 – Coeficientes de correlação entre a produtividade do milho e os nutrientes na prof. de 0 a 20cm.

Milho 2000 - Profundidade 0 a 20cm					
	5ha	2ha	1ha	0,5ha	0,01ha
Fósforo	-0,942	-0,903	-0,858	-0,838	-0,337
Mat.Org.	0,653	0,767	0,706	0,703	0,294
pH	-0,910	-0,942	-0,866	-0,842	-0,395
Potássio	-0,937	-0,812	-0,695	-0,691	-0,163
Cálcio	-0,964	-0,820	-0,806	-0,738	-0,285
Magnésio	-0,937	-0,891	-0,834	-0,775	-0,290
H+Al	0,839	0,891	0,809	0,793	0,339
Soma Bases	-0,956	-0,866	-0,829	-0,765	-0,301
Sat. Bases	-0,912	-0,939	-0,861	-0,830	-0,358
CTC	0,316	0,641	0,524	0,554	0,222

Os coeficientes de correlação obtidos variaram significativamente com o aumento da área amostral utilizada.

Para a cultura da soja as tendências se mantiveram para quase todos os nutrientes, os fatores Matéria Orgânica e Potássio apresentaram correlação positiva, os fatores pH, magnésio, soma de bases, saturação por bases e CTC apresentaram correlação negativa para todas as profundidades e áreas amostrais consideradas. O fator fósforo apresentou sempre correlação negativa exceto na profundidade 0 a 5cm e área amostral 5ha. O fator H+Al apresentou sempre correlação positiva com a produtividade exceto na profundidade 0 a 5cm e área amostral 0,01ha e o fator cálcio apresentou sempre correlação negativa com a produtividade exceto na profundidade 0 a 20cm e área amostral 0,01ha.

Para a cultura do milho, com exceção do fator CTC todos os demais apresentaram as mesmas tendências para todas as profundidades e áreas amostrais consideradas. Os fatores matéria orgânica e H+Al apresentaram correlação positiva e os fatores fósforo, pH, potássio, cálcio, magnésio e soma de bases apresentaram correlação negativa.

Ao se avaliar ambas as culturas nota-se que na maioria das vezes os fatores tiveram a mesma interação, ou seja, exceto no caso do potássio e da CTC, quando um nutriente influencia a produtividade da soja positivamente ou negativamente, o mesmo ocorre para a cultura do milho.

A elevação dos coeficientes de correlação com o aumento da área amostral se deve à redução da dispersão de valores. Quando se utiliza a área amostral de 0,01ha tem-se cerca de 2300 valores utilizados na correlação (a área tem 23ha aproximadamente e as quadrículas 0,01ha), desta forma a dispersão é muito elevada e o coeficiente de correlação bastante baixo. Ao elevarmos a área amostral para 1ha teremos somente 23 valores para utilizar na correlação o que permite reduzir a dispersão elevando o coeficiente de correlação sem, contudo perder o tipo de influência causada pelo fator considerado. Uma boa área amostral a ser utilizada parece ser a de 1ha uma vez que não se tem excesso ou falta de dados para a realização das correlações.

Com relação às profundidades utilizadas não houve uma variação significativa nos coeficientes obtidos para ambas as culturas em cada uma das áreas amostrais consideradas. Pelo fato de não ter ocorrido variação na tendência apresentada por nenhum nutriente para ambas as culturas na profundidade de 0 a 10cm talvez esta seja a melhor profundidade para a coleta de amostras e correlação com a produtividade.

A conclusão a que se chegou após a análise dos dados foi que se faz muito importante a descrição detalhada de qual a metodologia utilizada quando se realizam correlações entre a fertilidade química do solo e a produtividade em agricultura de precisão. Ficou comprovado que com um mesmo conjunto de dados podem ser obtidos coeficientes de correlação variados.

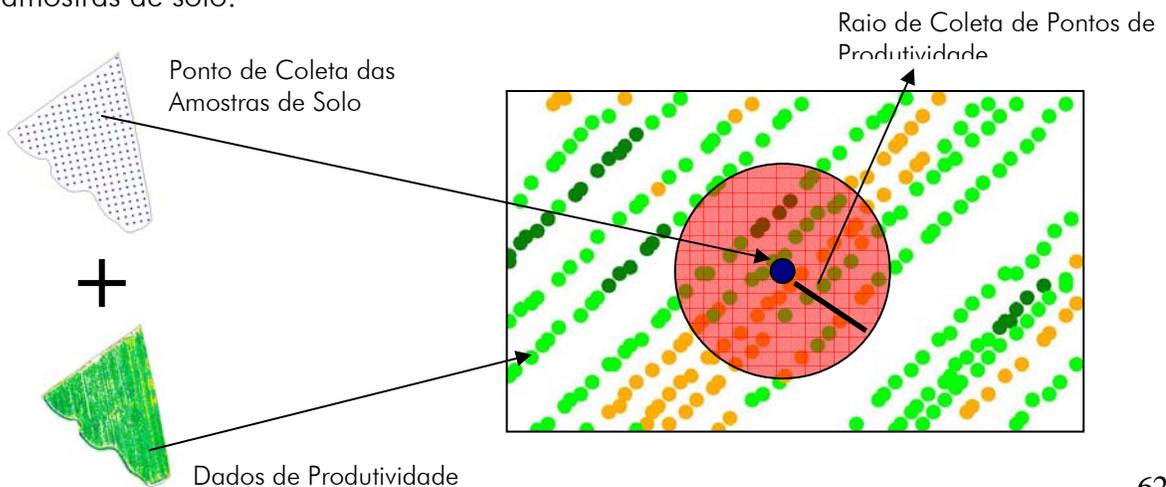
A interpretação dos resultados de correlações isoladas entre um nutriente e a produtividade deve ser sempre cuidadosa.

Nos resultados apresentados acima as correlações estão indicando que o aumento do teor de nutrientes como o fósforo, cálcio, magnésio e pH acabam por influenciar negativamente a produtividade o que se sabe que não ocorre normalmente. Uma série de fatores devem ser levados em conta, o aumento do pH, por exemplo, está associado com o aumento dos teores de magnésio e cálcio de modo que não se deve avaliar a influência de um sem o outro.

Regressões Múltiplas Entre Produtividade e Teores de Nutrientes no Solo

A utilização de regressão múltipla permite que se avalie a interação que dois ou mais fatores apresentam com outro. Em outras palavras, é possível avaliar se um conjunto de nutrientes está interferindo na produtividade, quais são os nutrientes com maior grau de interação e se esta interação é positiva ou negativa.

Foram utilizados os dados da mesma área com a diferença de que não se realizaram interpolações; estudou-se somente a cultura da soja. Foi desenvolvido um software para coleta de pontos do mapa de produtividade ao redor dos pontos de coletas de amostras de solo:



O software identifica quais os pontos do mapa de produtividade se encontram em uma área circular determinada pelo raio em torno do ponto de amostragem de solo e calcula um valor médio de produtividade para cada ponto da amostragem de solo.

Os dados obtidos desta maneira foram utilizados nas regressões múltiplas variando-se o raio de coleta de pontos de produtividade (5, 10 e 15m) e a profundidade de coleta das amostras de solo.

Os resultados obtidos estão representados de modo sintetizado nas tabelas abaixo.

Tabela 24 – Resultados da regressão múltipla entre a produtividade da soja e os nutrientes estudados para a profundidade de coleta de amostras de 0 a 5cm.

Profundidade 0 a 5cm			
Raio 5m			
Modelo de Ajuste	R ²	Nº var.	Variáveis
Linear	0,171	2	*pH, * K ₂ O
Logarítmico	0,190	2	pH, K ₂ O
Quadrático	0,212	4	pH, K ₂ O, Mg, V%
Inverso	0,192	3	pH, H+Al, K ₂ O
Raiz	0,190	2	pH, K ₂ O
Raio 10m			
Modelo de Ajuste	R ²	Nº var.	Variáveis
Linear	0,275	4	pH, K ₂ O, Mg, V%
Logarítmico	0,260	3	pH, K ₂ O, V%
Quadrático	0,271	4	pH, K ₂ O, Mg, V%
Inverso	0,262	3	pH, K ₂ O, V%
Raiz	0,260	3	pH, K ₂ O, V%
Raio 15m			
Modelo de Ajuste	R ²	Nº var.	Variáveis
Linear	0,365	3	pH, K ₂ O, V%
Logarítmico	0,369	3	pH, K ₂ O, V%
Quadrático	0,358	3	pH, K ₂ O, V%
Inverso	0,367	3	pH, K ₂ O, V%
Raiz	0,367	3	pH, K ₂ O, V%

*Interação Negativa - * Interação Positiva

As regressões foram realizadas no programa SAS (*The SAS System for Windows*), sendo utilizados 5 tipos de modelo para ajuste. A utilização de diferentes ajustes é realizada pois os fatores (nutrientes) influenciam de modo diferente a produtividade. Sendo Y a

produtividade e X um fator qualquer então os modelos utilizados podem ser assim descritos: Linear ($Y=X$), Logarítmico ($Y=\log x$), Exponencial ($Y=X^2$), Inverso ($Y=1/X$) e Raiz ($Y=\text{raiz}X$).

Os resultados obtidos são bastante diversos e por vezes controversos. Os coeficientes obtidos foram baixos e as variáveis identificadas nos diferentes raios e profundidades também tiveram variação.

Tabela 25 – Resultados da regressão múltipla entre a produtividade da soja e os nutrientes estudados para a profundidade de coleta de amostras de 0 a 10cm.

Profundidade 0 a 10cm			
Raio 5m			
Modelo de Ajuste	R ²	Nº var.	Variáveis
Linear	0,101	2	*M.O., Al
Logarítmico	0,170	4	pH, H+Al, *Mg, V%
Quadrático	0,133	4	P2O5, M.O., Mg, CTC, H+Al
Inverso	0,175	3	pH, H+Al, Ca
Raiz	0,167	4	pH,H+Al, SB, V%
Raio 10m			
Modelo de Ajuste	R ²	Nº var.	Variáveis
Linear	0,211	5	H+Al, M.O.,K2O, V%, CTC
Logarítmico	0,218	5	H+Al, V%, M.O.,K2O, pH
Quadrático	0,163	4	H+Al, M.O., K2O, P2O5
Inverso	0,215	4	H+Al, Ca, M.Org., K2O
Raiz	0,223	5	H+Al, V%, SB, M.Org., Mg
Raio 15m			
Modelo de Ajuste	R ²	Nº var.	Variáveis
Linear	0,308	6	H+Al, M.O., K2O, V%, SB, Mg
Logarítmico	0,290	5	H+Al, Ca, M.O., K2O, pH
Quadrático	0,254	4	H+Al, M.O., K2O, P2O5
Inverso	0,322	7	H+Al, Ca, V%, M.O., CTC, SB, K2O, pH
Raiz	0,296	4	H+Al, V%, Mg, M.O.

*Interação Negativa - * Interação Positiva

Nas profundidades maiores o número de variáveis utilizadas pelo modelo foi maior e nos raios maiores o coeficiente de regressão foi também maior. É interessante notar a sensibilidade do método ao se avaliar que o modelo inverso fornece como resultado de interação sempre o oposto dos demais, principalmente na profundidade de 0 a 5cm.

Entre os fatores estudados aqueles que apareceram na maioria das vezes foram o pH, potássio, H+Al e V% (saturação por bases). A escolha de um raio para coleta de

pontos representativos da produtividade é complexa assim como o é a escolha de uma profundidade mais adequada. Pode se afirmar somente que nos raios e profundidades maiores a ferramenta utilizada expressou maior potencial.

Tabela 26 – Resultados da regressão múltipla entre a produtividade da soja e os nutrientes estudados para a profundidade de coleta de amostras de 0 a 20cm.

Profundidade 0 a 20cm			
Raio 5m			
Modelo de Ajuste	R ²	Nº var.	Variáveis
Linear	0,219	3	*pH,* V%, K2O
Logarítmico	0,273	5	H+Al, V%, M.O.,K2O,pH
Quadrático	0,258	6	pH, K2O, CTC, H+Al, SB, M.O.
Inverso	0,268	4	H+Al, SB, M.O.,K2O
Raiz	0,268	6	pH, V%, K2O, H+Al, M.O.,CTC
Raio 10m			
Modelo de Ajuste	R ²	Nº var.	Variáveis
Linear	0,283	3	pH, K2O, V%
Logarítmico	0,330	5	H+Al, K2O, V%, M.O.,pH
Quadrático	0,272	4	pH, K2O, V%, P2O5
Inverso	0,327	5	H+Al, K2O, Ca, M.O.,pH
Raiz	0,330	6	pH, V%, K2O, H+Al, M.O.,CTC
Raio 15m			
Modelo de Ajuste	R ²	Nº var.	Variáveis
Linear	0,389	5	pH, K2O, V%, H+Al, SB
Logarítmico	0,396	5	H+Al, K2O, V%, pH, M.O.
Quadrático	0,391	7	pH, K2O, V%, P2O5, CTC, Mg, M.O.
Inverso	0,395	5	H+Al, K2O, Ca, pH, M.O.
Raiz	0,376	4	pH, K2O, SB, M.O

*Interação Negativa - * Interação Positiva

As respostas obtidas permitem concluir somente que há fatores mais importantes que outros, por exemplo, pH, potássio, H+Al e V%. Ficou claro o potencial de utilização da ferramenta regressão múltipla assim como a necessidade de compreendê-la melhor.

Definição de Unidades de Manejo Utilizando os Dados de Fertilidade Química e Produtividade.

O conceito unidade de manejo se refere à identificação e definição de áreas do talhão que possuem as mesmas características. Seria muito difícil estabelecer unidades de manejo levando em conta todos os fatores presentes no sistema, na tentativa de

compreender a influência da fertilidade química, considerou-se os demais fatores como sendo uniformes e foi proposta uma metodologia para identificar regiões mais ou menos propícias ao desenvolvimento das culturas com base nas informações de fertilidade e produtividade. A proposta foi a de se avaliar a disponibilidade de nutrientes em teores adequados e no seu balanço.

Foram utilizados os dados dos mapas de produtividade em quadrículas da cultura da soja e mapas de fertilidade da amostragem na profundidade de 0 a 20cm.

As informações foram reunidas em uma tabela e procedeu-se à realização de correlações conforme proposto anteriormente, sendo considerada como área amostral 1ha. Os resultados das correlações estão expressos abaixo:

Tabela 27 – Coeficientes de correlação entre a produtividade da cultura da soja e nutrientes na profundidade 0 a 20cm

Corr. - Nutrientes x Produtividade da Soja	
	r²
Fósforo	-0,609
Mat.Org.	0,150
pH	-0,925
Potássio	0,632
Cálcio	-0,897
Magnésio	-0,908
H+Al	0,864
Soma Bases	-0,915
Sat. Bases	-0,930
CTC	0,370

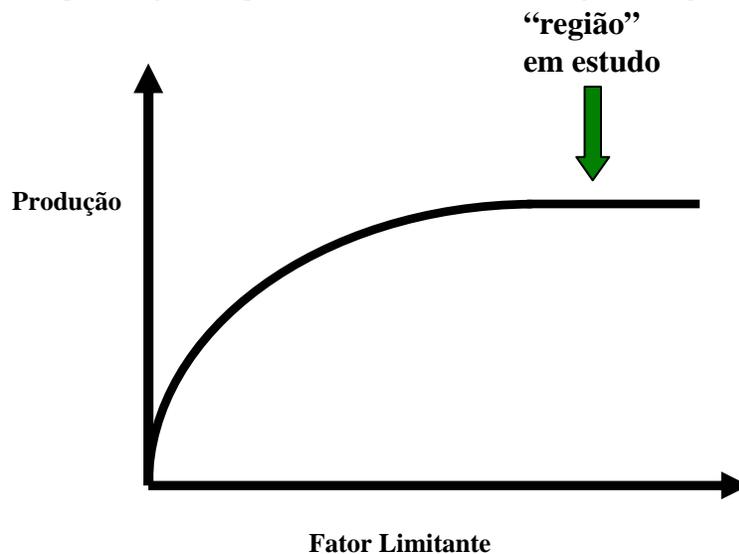
- 10 fatores estudados
- 1 fator desprezado

Dentre os 10 fatores estudados 9 obtiveram coeficientes de correlação satisfatórios sendo realizadas regressões lineares para estes fatores obtendo-se as seguintes equações:

P - Y= -1.5584x + 201.09	Mg - Y= -4.9001X + 176.48
pH - Y= -60.814X + 386.62	H+Al - Y= 1.3086X - 14.167
Ca - Y= -3.021X + 201.81	M% - Y= 11.194X + 40.551
K - Y= 58.866X - 45.912	SB - Y= -2,0053X + 204.8
V% - Y= -2.4911X + 197.36	

Sabe-se que o comportamento da produtividade (expressa como Y) não apresenta relação linear com a elevação do teor de nutrientes. O ajuste linear foi utilizado pois, ao avaliar os dados de teores de nutrientes e a produtividade nota-se que na área em questão os teores e a produtividade são elevados pressupondo uma resposta próxima à linear:

Figura 13 – Representação do tipo de dados utilizado na realização das regressões lineares.



Com a utilização das equações foram determinados os teores de nutrientes adequados para obter rendimentos relativos elevados:

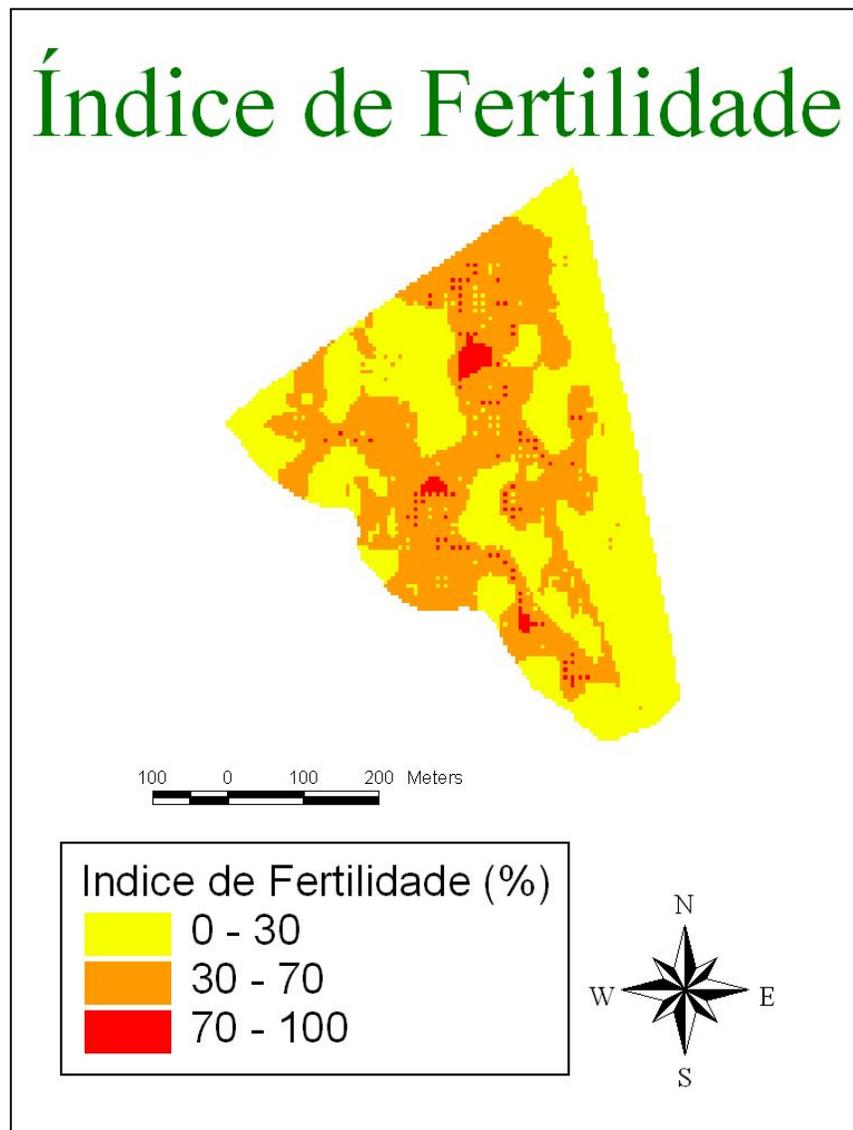
Tabela 28 – Rendimentos relativos obtidos com as equações.

	Rendimento Relativo (%)			
	75	80	90	100
Fósforo	81,43	78,22	71,80	65,39
pH	5,12	5,04	4,88	4,71
Potássio	2,05	2,14	2,31	2,48
Cálcio	41,98	40,32	37,01	33,70
Magnésio	20,71	19,69	17,65	15,61
H+Al	68,14	71,96	79,60	87,24
Sat. Alumínio	23,26	28,26	38,26	48,26
Sat. Bases	49,09	47,09	43,07	39,06
Soma Bases	64,73	62,24	57,25	52,26

A seguir, voltou-se aos dados iniciais onde se tinha uma tabela com linhas representando as quadrículas e colunas com as coordenadas geográficas e os teores dos

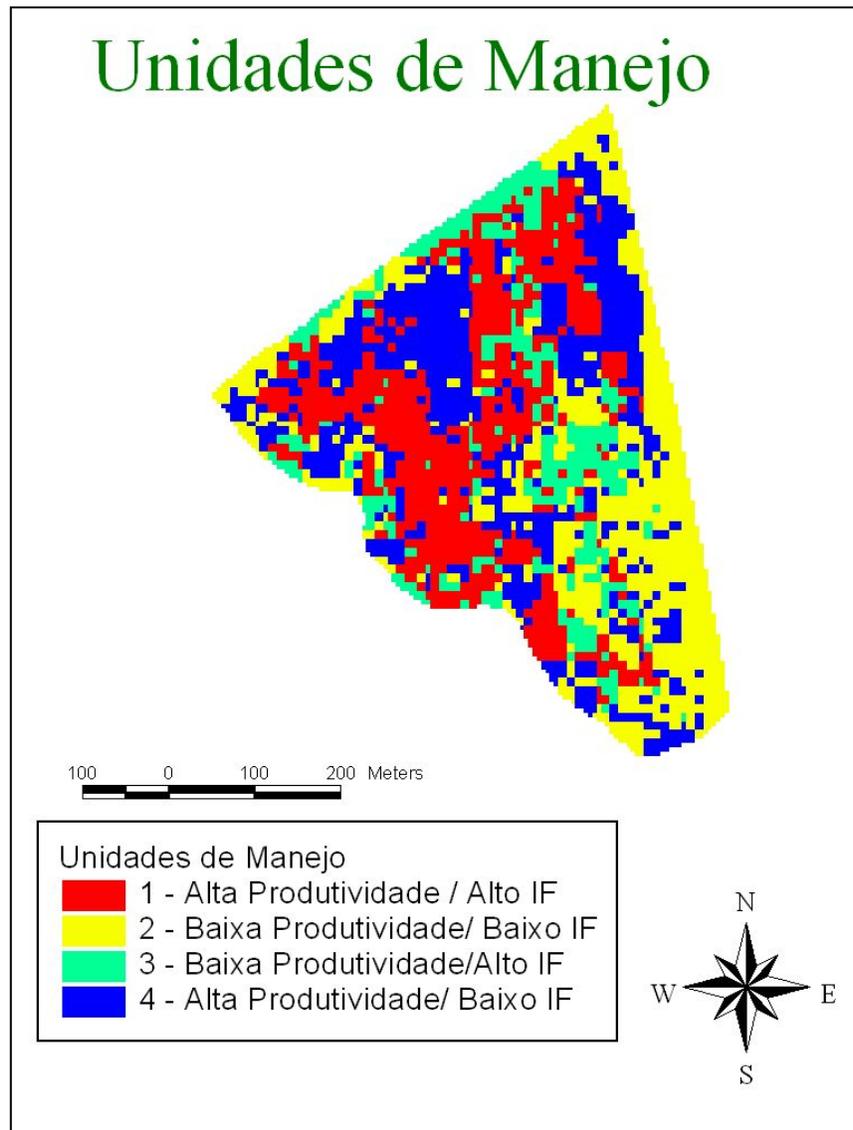
nutrientes estudados. Gerou-se uma nova coluna onde se atribuiu uma nota para cada linha utilizando como parâmetro os teores de nutrientes considerados adequados para a obtenção de rendimentos elevados. Quando o teor de um nutriente se encontrava dentro da faixa considerada adequada somava-se 1 ponto à nova coluna e quando o teor se encontrava fora do intervalo não se somava nada, ao final do processo poderia ser atribuída uma nota máxima igual a 9 e uma nota mínima igual a 0. Esta nota foi transformada em percentagem e recebeu o nome de índice de fertilidade (IF). Uma vez que as informações de produtividade bem como de fertilidade se encontram espacializadas (tem coordenadas conhecidas), é possível gerar um mapa de qualquer outra variável derivada destas duas:

Figura 14 – Índice de fertilidade espacializado.



A definição das unidades de manejo foi realizada com o cruzamento das informações do mapa de Índice de Fertilidade com as informações do mapa de produtividade da soja sendo obtido o resultado abaixo apresentado.

Figura 15 – Unidades de manejo identificadas



Foram definidas quatro unidades de manejo distintas que permitem identificar áreas do campo com respostas diferentes à fertilidade química. Nas regiões em vermelho e em verde pode se dizer que não devem ocorrer problemas com a fertilidade. Nas regiões em amarelo e em azul podem estar ocorrendo problemas com a fertilidade química.

Na próxima safra será realizado um experimento para verificar a validade do modelo proposto. Serão realizados tratamentos diferenciados dentro de cada unidade de manejo, devem ser testados diferentes doses de fertilizante e dois cultivares de soja.

Mecanização Agrícola e Variabilidade – Caso das Semeadoras

A semeadura é uma das operações agrícolas de maior importância e, portanto deve ser realizada tomando-se uma série de cuidados. Na tentativa de identificar possíveis problemas no processo de semeadura na cultura do milho que poderiam estar gerando variabilidade na produção foram realizados 4 ensaios de semeadoras distintas. Estes ensaios também foram realizados visando caracterizar como esta operação vem sendo realizada na região.

Foram selecionadas 4 semeadoras distintas e representativas nas propriedades onde os ensaios se realizaram: Baldan PP SOLO 4000, SLC-John Deere – Vacu Meter, SLC – 2700 e SHM 15-17.

Realizaram-se ensaios na bancada (regularidade de distribuição transversal) e também a campo (regularidade de distribuição longitudinal), o procedimento utilizado foi bastante simples, após o produtor ter realizado as regulagens para o plantio anotava-se a população e a dose de adubo desejados e procedia-se ao ensaio.

No ensaio ao barracão as semeadoras foram erguidas de modo a deixar as rodas livres, calculou-se o número de voltas das rodas para que se percorressem 30m e em seguida foi realizada uma calibração de modo a simular a operação em uma velocidade entre 4 e 5km/h. Após o fluxo de grão e fertilizante estar estabilizado procedia-se ao acionamento do mecanismo dosador por meio das rodas e à coleta do material com a utilização de sacos plásticos. Foram realizadas 3 repetições onde se coletou semente e fertilizante, sendo os resultados apresentados a seguir.

Baldan PP SOLO 4000

- N° de sementes desejado = 4,9sem/m ou 61250sem/ha

Tabela 29 – Resultados do ensaio ao barracão para a semeadora Baldan PP SOLO 4000 - sementes.

Unidade	Média (sem. em 30m)	C.V.(%)	Sem/m	Sem/ha	Desv. da Média (%)	Desv. do Desejado (%)
Linha 1	149	1,7	5,0	62222	-1,8	1,6
Linha 2	151	0,8	5,0	62778	-0,9	2,5
Linha 3	155	1,0	5,2	64444	1,8	5,2
Linha 4	151	2,3	5,0	62917	-0,7	2,7
Linha 5	154	1,6	5,1	64306	1,5	5,0
Média	152	1,5	5,1	63333	0,0	3,4

- Dose de Fertilizante desejada = 370kg/ha

Tabela 30 – Resultados do ensaio ao barracão para a semeadora Baldan PP SOLO 4000 - fertilizante.

Unidade	Média (g)	C.V.(%)	kg/ha	Desv. da Média (%)	Desv. do Desejado (%)
Linha 1	977	1,7	407	4,7	10,1
Linha 2	947	1,4	394	1,4	6,6
Linha 3	954	2,0	398	2,2	7,5
Linha 4	922	5,9	384	-1,2	3,8
Linha 5	867	1,9	361	-7,1	-2,4
Média	933	3	389	0,0	5,1

SLC/john Deere – Vacu-Meter

- N° de sementes desejado = 4,9sem/m ou 61250sem/ha

Tabela 31 – Resultados do ensaio ao barracão para a semeadora SLC/john Deere – Vacu-Meter - sementes.

Unidade	Média (sem. em 30m)	C.V.(%)	Sem/m	Sem/ha	Desv. da Média (%)	Desv. do Desejado (%)
Linha 1	109	1,4	5,5	68333	0,4	11,6
Linha 2	108	1,1	5,4	67292	-1,1	9,9
Linha 3	108	2,4	5,4	67500	-0,8	10,2
Linha 4	111	1,4	5,5	69167	1,7	12,9
Linha 5	110	1,8	5,5	68750	1,0	12,2
Linha 6	110	1,4	5,5	68542	0,7	11,9
Linha 7	107	2,2	5,3	66667	-2,0	8,8
Média	109	1,7	5,4	68036	0,0	11,1

- Dose de Fertilizante desejada = 370kg/ha

Tabela 32 – Resultados do ensaio ao barracão para a semeadora SLC/john Deere – Vacu-Meter - fertilizante

Unidade	Média (g)	C.V.(%)	kg/ha	Desv. da Média (%)	Desv. do Desejado (%)
Linha 1	592	1,5	370	-1,2	0,1
Linha 2	612	8,3	382	2,1	3,3
Linha 3	627	14,6	392	4,7	6,0
Linha 4	600	7,7	375	0,1	1,4
Linha 5	642	8,5	401	7,1	8,4
Linha 6	557	10,3	348	-7,0	-5,9
Linha 7	565	7,0	353	-5,8	-4,6
Média	599	8,3	375	0,0	1,2

SLC – 2700

- N° de sementes desejado = 4,96sem/m ou 62000sem/ha

Tabela 33 – Resultados do ensaio ao barracão para a semeadora SLC – 2700- sementes.

Unidade	Média (sem. em 30m)	C.V.(%)	Sem/m	Sem/há	Desv. da Média (%)	Desv. do Desejado (%)
Linha 1	159	0,6	5,3	66250	0,4	6,9
Linha 2	159	1,4	5,3	66389	0,6	7,1
Linha 3	156	0,7	5,2	65139	-1,3	5,1
Linha 4	157	0,4	5,2	65556	-0,6	5,7
Linha 5	160	1,3	5,3	66528	0,8	7,3
Média	158	0,9	5,3	65972	0,0	6,4

- Dose de Fertilizante desejada = 400kg/ha

Tabela 34 – Resultados do ensaio ao barracão para a semeadora SLC – 2700 - fertilizante

Unidade	Média (g)	C.V.(%)	kg/ha	Desv. da Média (%)	Desv. do Desejado (%)
Linha 1	980	13,6	408	1,3	2,1
Linha 2	960	3,4	400	-0,9	0,0
Linha 3	869	4,1	362	-10,2	-9,5
Linha 4	1041	5,9	434	7,5	8,4
Linha 5	990	5,8	413	2,3	3,1
Média	968	6,6	403	0,0	0,8

SHM / 15-17

- N° de sementes desejado = 5,5sem/m ou 68750sem/ha

Tabela 35 – Resultados do ensaio ao barracão para a semeadora SHM/15-17 - sementes.

Unidade	Média (sem. em 30m)	C.V.(%)	Sem/m	Sem/ha	Desv. da Média (%)	Desv. do Desejado (%)
Linha 1	184	4,5	6,1	76806	4,0	11,7
Linha 2	183	6,0	6,1	76389	3,4	11,1
Linha 3	159	3,8	5,3	66250	-10,3	-3,6
Linha 4	182	3,1	6,1	75972	2,9	10,5
Média	177	4,4	5,9	73854	0,0	7,4

- Dose de Fertilizante desejada = 300kg/ha

Tabela 36 – Resultados do ensaio ao barracão para a semeadora SHM/15-17 - fertilizante

Unidade	Média (g)	C.V.(%)	kg/ha	Desv. da Média (%)	Desv. do Desejado (%)
Linha 1	720	2,1	300	-1,0	0,0
Linha 2	728	0,4	303	0,2	1,2
Linha 3	743	0,4	310	2,2	3,2
Linha 4	717	0,4	299	-1,4	-0,5
Média	727	0,8	303	0,0	1,0

Os resultados apresentados podem ser considerados de modo geral satisfatórios, tanto no caso da dosagem de sementes como na dosagem de fertilizantes. Os desvios médios em relação ao número de sementes desejado esteve sempre abaixo de 10% exceto para a semeadora SLC/john Deere – Vacu-Meter, a única com mecanismo dosador pneumático, onde se obteve 11%. Os coeficientes de variação encontrados foram sempre baixos caracterizando o bom comportamento das semeadoras.

É importante ressaltar que embora as máquinas tenham se saído bem no ensaio ocorre uma variação significativa no número de sementes e na dose de fertilizantes depositados por cada linha o que não se nota quando se observa somente a média, prática comum na regulagem das máquinas pelos operadores.

Embora bastante simples, o ensaio estático no barracão permitiu avaliar de modo satisfatório os mecanismos dosadores de semente e de fertilizante. Bastante curioso foi o comportamento do mecanismo dosador pneumático que apresentou desempenho inferior aos demais, que eram de disco horizontal.

Após o ensaio estático foi realizado o ensaio a campo, sendo efetuada a operação de semeadura normalmente demarcou-se uma distância de 30m no campo e identificaram-se as linhas de semeadura para posterior avaliação. Duas a três semanas após o plantio foi realizada a avaliação medindo-se o espaçamento entre plantas em cada uma das linhas. A seguir foram classificados os espaçamentos entre plantas como apresentado abaixo:

Tabela 37 – Classificação dos espaçamentos adotados como padrão.

Tipo de Espaçamento	Intervalo do espaçamento
Múltiplos	$X < 0,5 * X_{ref.}$
Aceitáveis	$0,5 X_{ref.} < X < 1,5 * X_{ref.}$
Falhas	$X > 1,5 * X_{ref.}$

Após a classificação dos espaçamentos calculou-se a frequência de ocorrência dos mesmos para cada máquina em cada linha obtendo-se os resultados abaixo.

Tabela 38 – Resultados do ensaio de distribuição longitudinal de sementes para a semeadora Baldan PP SOLO.

Baldan PP SOLO 4000					
Linhas	C.V. (%)	Xméd. (cm)	Múltiplos Aceitáveis Falhos		
			%		
1	34	21	4	88	8
2	50	23	12	64	24
3	43	21	9	80	12
4	57	21	20	59	20
5	51	21	17	69	15
Média	47	21	12	72	16

Gráfico 15 – Frequências médias de espaçamentos para a semeadora Baldan PP SOLO

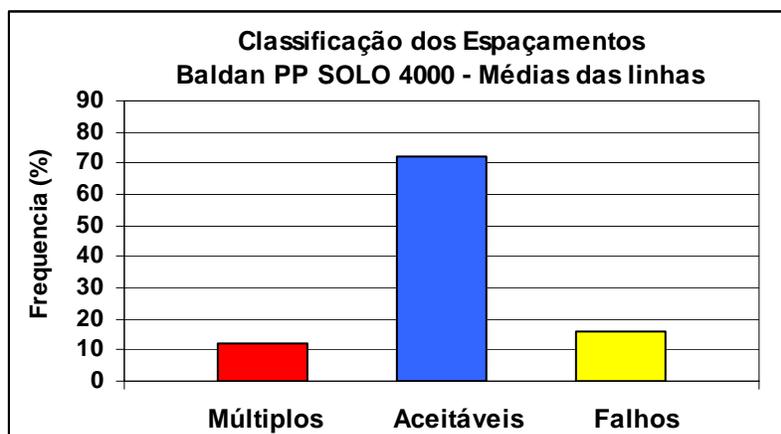


Tabela 39 – Resultados do ensaio de distribuição longitudinal de sementes para a semeadora SLC – Vacu-Meter.

SLC - Vacu-Meter					
Linhas	C.V. (%)	Xméd. (cm)	Múltiplos Aceitáveis Falhos		
			Múltiplos	Aceitáveis	Falhos
1	62	23	16	61	24
2	41	22	3	89	9
3	62	25	7	74	19
4	50	24	10	66	25
5	55	25	13	56	31
6	62	25	6	71	23
7	42	24	4	78	18
Média	54	25	8	71	21

Gráfico 16 – Frequências médias de espaçamentos para a semeadora SLC - Vacu-Meter.

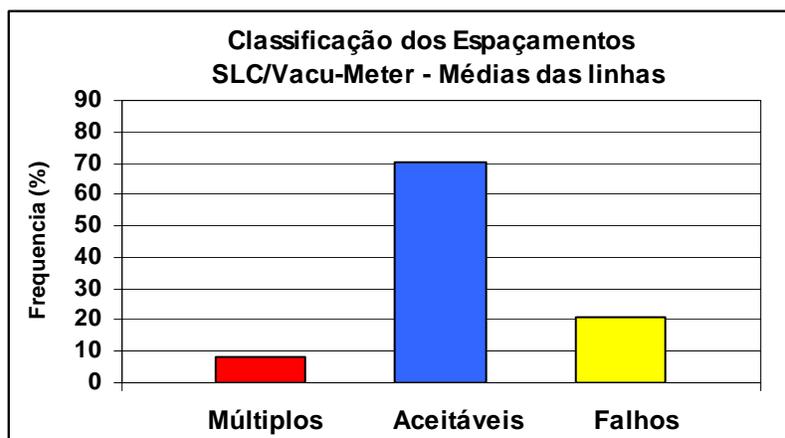


Tabela 40 – Resultados do ensaio de distribuição longitudinal de sementes para a semeadora SLC – 2700.

SLC - 2700					
Linhas	C.V. (%)	Xméd. (cm)	Múltiplos Aceitáveis Falhos		
			Múltiplos	Aceitáveis	Falhos
1	48	23	2	87	10
2	39	22	5	79	16
3	44	24	2	79	20
4	46	24	2	81	17
5	45	22	4	88	8
Média	44	23	3	83	14

Gráfico 17 – Frequências médias de espaçamentos para a semeadora SLC- 2700.

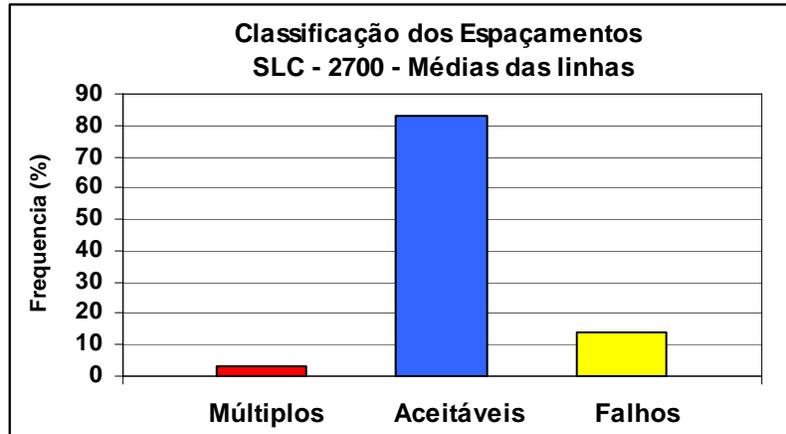
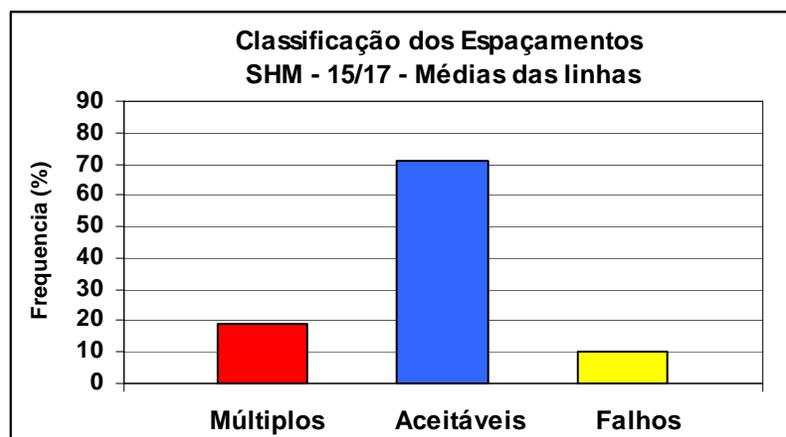


Tabela 40 – Resultados do ensaio de distribuição longitudinal de sementes para a semeadora SHM 15/17.

SHM - 15/17					
			Múltiplos	Aceitáveis	Falhos
Linhas	C.V. (%)	Xméd. (cm)	%		
1	52	17	18	71	12
2	61	16	22	68	10
3	68	17	18	72	10
4	67	16	18	72	10
Média	62	17	19	71	10

Gráfico18 – Frequências médias de espaçamentos para a semeadora SHM- 15/17.



Os resultados do ensaio a campo permitem qualificar as máquinas de modo mais palpável uma vez que se avalia todo o conjunto e não somente o mecanismo dosador. ○

comportamento das semeadoras a campo foi bastante diferente daquele obtido no barracão, os coeficientes de variação obtidos foram sempre elevados sendo que somente uma das semeadoras – SLC 2700 – alcançou uma regularidade aceitável na distribuição.

Um aspecto muito importante a se observar é que na média dos espaçamentos as máquinas estiveram bastante próximas do desejado, chegando a um número de plantas/m próximo àquele observado no barracão, entretanto quando se avalia a distribuição a campo os espaçamentos falhos e múltiplos são preocupantes. Este tipo de avaliação não é realizada na grande maioria das propriedades da região, o que se faz normalmente é a simulação da operação de semeadura no pátio, sobre solo rígido e a contagem de sementes, desprezando portanto o espaçamento entre sementes.

○ fornecimento de treinamento parece necessário na região, os produtores geralmente regulam e realizam a manutenção rigorosa das semeadoras, o problema está na falta de treinamento e conhecimento de outros métodos para a avaliação do trabalho que está sendo realizado no campo.

Objetivo III – Auxiliar a Fundação ABC realizando treinamento de pessoal para a utilização de ferramentas de Agricultura de Precisão.

Durante o período de estágio foram realizadas algumas breves apresentações sobre as ferramentas utilizadas na obtenção dos resultados citados neste relatório para os pesquisadores dos diferentes setores da Fundação ABC.

Nestas apresentações procurou-se apresentar não somente as ferramentas utilizadas nos vários processos, mas também, e principalmente, os conceitos envolvidos e que constituem por si só a chamada Agricultura de Precisão.

Além destas breves apresentações, foram realizados alguns exercícios a campo como, por exemplo, a navegação utilizando o GPS e a demarcação de pontos e trajetos.

Também foram realizadas apresentações e discussões com pesquisadores de outras instituições de pesquisa e a própria assistência técnica da região.

PARTE III

Atividades Paralelas

No decorrer do período de estágio foram realizadas algumas atividades paralelas como por exemplo a participação em uma série de palestras, a apresentação de um trabalho no evento *Infoagro 2000* e de três trabalhos no VIII Simpósio Internacional de Iniciação Científica da USP. Também ocorreu uma participação na edição do boletim informativo da Fundação ABC, o qual foi todo voltado para a agricultura de precisão.

Além de desenvolver este tipo de trabalho acadêmico também foram realizadas viagens por toda a região de atuação da Fundação ABC em companhia do corpo técnico. Estas viagens foram bastante instrutivas, verificou-se a situação da agricultura nas diferentes regiões, as variações no clima, culturas e produtores.

Foi realizado o acompanhamento da colheita do trigo nas áreas envolvidas no projeto de agricultura de precisão, fornecendo suporte técnico e logístico.

Uma área contemplada no projeto é o sensoriamento remoto com a obtenção de imagens aéreas utilizando-se da técnica designada videografia aérea. No período do inverno foram realizados vôos sobre as áreas envolvidas no projeto e realizou-se o acompanhamento auxiliando na identificação dos talhões e também fornecendo suporte logístico à equipe.

Figuras 16 e 17 – Imagens aéreas de dois talhões envolvidos no projeto agricultura de precisão.



Também foram realizadas visitas às cooperativas e reuniões com o corpo técnico das mesmas.

Em Síntese:

No decorrer do semestre foram realizadas várias atividades que permitiram conhecer a instituição, a assistência técnica local e os produtores. Dentro do propósito do estágio as tarefas foram executadas em sua maioria e os resultados obtidos na análise dos dados foram satisfatórios.

A convivência com os pesquisadores da Fundação ABC e de outras instituições de pesquisa e o contato com os produtores forneceu subsídios à formação de opiniões sobre qual e como deveria agir um setor voltado para a mecanização e agricultura de precisão.

Na mecanização agrícola a maior demanda por parte dos produtores é a de se ensaiar máquinas. Segundo os mesmos não há grandes problemas com a assistência técnica fornecida pelas indústrias de máquinas e também não haveriam problemas operacionais, os maiores problemas seriam a falta de adaptações nas máquinas disponíveis para que estas trabalhem satisfatoriamente no sistema plantio direto.

Do ponto de vista da pesquisa os ensaios de máquinas são realmente necessários mas constituem mais uma medida para contornar um problema do que sua solução definitiva.

Os ensaios de máquinas não devem ser utilizados somente como comparativo de máquinas mas sim e principalmente como um indicador para as indústrias de quais seriam os problemas nas máquinas disponíveis visando a solução dos mesmos nos projetos de novas máquinas.

Ainda na visão de pesquisa seriam muito importantes o fornecimento de treinamento e principalmente o estudo para determinar quais seriam as frotas adequadas para suprir as necessidades dos diferentes modelos produtivos da região, juntamente com um trabalho de conscientização dos produtores para que os mesmos passem a enxergar não somente a qualidade de trabalho de uma determinada máquina mas sim a qualidade do seu sistema mecanizado como um todo. Parte significativa dos produtores tem essa visão mas o fato é que nenhum deles mede, calcula e estima.

A agricultura de precisão também deve ser vista em dois níveis: dentro do talhão e fora do talhão.

Dentro de talhão devem continuar sendo realizados os trabalhos de detecção da variabilidade e do impacto da sua presença. A análise dos dados desenvolvida durante o semestre contribuem satisfatoriamente para o entendimento da variabilidade presente no talhão estudado, ao ponto de já nesta safra permitir a realização de uma interferência na área.

Embora os resultados sejam por vezes confusos e mesmo contraditórios foi possível identificar algo que para muitos não era compreensível: o que influenciou a produtividade negativamente foi o excesso e desbalanço de nutrientes e não sua falta.

Mesmo que por vezes contraditórios, a maioria dos resultados obtidos nos diferentes métodos de análise da variabilidade permitiram chegar a uma conclusão. Talvez mais importante que os resultados obtidos seja a exploração e a proposição de ferramentas para a obtenção dos resultados.

Voltando à visão da agricultura de precisão, dentro do talhão também deve se inserir a mecanização, ensaiando as novas máquinas capazes de realizar aplicação em taxa variável e as máquinas usuais, avaliando a qualidade de seu trabalho, sua eficiência operacional e a variabilidade que as mesmas podem gerar.

A visão fora do talhão deve se basear na coleta de informações para a geração de um banco de dados que deve ser explorado por todos. Esta é a atividade com maior potencial de retorno para a pesquisa e também para os produtores.

Hoje muito esforço é realizado no sentido de regionalizar as recomendações da Fundação ABC para as distintas unidades presentes em sua área de atuação, como apresentado no início deste relatório as condições edafoclimáticas são muito variadas. Grande número de experimentos são realizados em busca desta regionalização, tanto nas estações experimentais como no próprio produtor e o que se nota é que mesmo com este esforço não se consegue extrapolar os resultados para as propriedades dos associados.

A agricultura de precisão fora do talhão deve ser vista como ferramenta fundamental para a regionalização. Com a coleta de informações climáticas, o conhecimento dos solos da região, topografia e com as informações sobre os rendimentos obtidos nas lavouras em função do manejo utilizado, grandes avanços poderiam ser

obtidos. O cruzamento destas informações dentro de um sistema de informações geográficas, deve fornecer diretrizes para a pesquisa e resultados para o produtor.

Deixando um pouco de lado o caráter técnico do emprego desta tecnologia e observando seu impacto sobre as pessoas envolvidas chega-se a uma boa perspectiva.

Com o passar do tempo os pesquisadores dos vários setores passam a dar maior importância à coleta de informações, à geração de bancos de dados, ao entendimento das características climáticas, das variações de solo e da importância de se trabalhar não mais somente em setores isolados mas sim em projetos onde passa a haver a interação de todos eles.

Mesmo que hoje se decidisse abortar completamente a idéia de se evoluir em agricultura de precisão, sua passagem pela Fundação ABC já teria deixado uma grande contribuição que é o despertar da pesquisa para a necessidade de se trabalhar a precisão na agricultura.

Bibliografia

- ACOCK, B., PACHEPSKY, Y.** *Holes in precision farming: mechanistic crop models.* In: Precision Agriculture. ASA-CSSA-SSSA, Madison, 1997, p.397-404.
- ALPHEN, B.J., STOORVOGEL, J.J.** *A Methodology to define Management Units in Support of an Integrated, Model-Based Approach to Precision Agriculture.* In: Precision Agriculture. ASA-CSSA-SSSA, Madison, 1998, 1267-1278.
- ANTUNASSI, U.R., JÚNIOR, C.D.G.** *Aplicação localizada de produtos fitossanitários.* Agricultura de Precisão, ANAIS DO SIMPÓSIO REALIZADO NA UNIVERSIDADE DE VIÇOSA, 2000, Viçosa, p.181-202.
- BLACKMER, T., SCHEPERS, J.S.** *Using DGPS to improve corn production and water quality.* GPS World, Eugene, p.44-52, Mar. 1996.
- BLACKMORE, S., MARSHALL, C.** *Yield Mapping; Errors and Algorithms.* Proc. 3rd International Conference on Precision Agriculture, Minneapolis, 1996.
- COLLIVER, C.T., MAXWELL, B.D., TYLER, D.A., ROBERTS, D.W., LONG, D.S.** *Georeferencing wild oat infestations in small grains: Accuracy and efficiency of tree weed survey techniques.* In: Precision Agriculture. ASA-CSSA-SSSA, Madison, p.453-463, 1996.
- DEERE & COMPANY,** *The Precision Farming Guide for Agriculturists,* John Deere Publishing, 1997.
- EARL, L., WHEELER, P.N., BLACKMORE, S., GODWIN, R.J.** *Precision Farming – The Management of Variability.* Cranfield University, (paper, vol.51 n°4 pp18-23), 1997.

EHLERT, D., JÜRSCHIK, P. *Techniques for determining heterogeneity for precision agriculture.* In: Precision Agriculture. ASA-CSSA-SSSA, Madison, 1997, p.627-634.

ESRI. 1996. *Using ArcView G.I.S.* ESRI, Redlands, CA.

FRANÇA, E.G., OLIVEIRA, A.C., MANTOVANI, E.C., ANDRADE, C.L.T., MARRIEL, I.E., *Análise preliminar de mapas de variabilidade espacial da fertilidade do solo.* Agricultura de Precisão, ANAIS DO SIMPÓSIO REALIZADO NA UNIVERSIDADE DE VIÇOSA, 2000, Viçosa, p.339 - 356.

FROGBROOK, Z.L. *The effect of sampling intensity on the reliability of predictions and maps of soil properties.* In: Precision Agriculture. ASA-CSSA-SSSA, Madison, 1999, p.71-80.

GIMENEZ, L.M., MOLIN, J.P. *Desenvolvimento de um Algoritmo para Redução de Erros em Mapas de Produtividade Obtidos em Agricultura de Precisão.* Trabalho apresentado no VII Simpósio Internacional de Iniciação Científica da Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2000.

LAIRD, R.J., CADY, F.B. *Combined analyses of yield data from fertilizer experiments.* Agron. J. 61:829-834.

LARK, L.M., BOLAM, H.C., MAYR, T., BRADLEY, R.I., BURTON, R.G.O., DAMPNEY, P.M.R. *Analysis of yield maps in support of field investigations of soli variation.* In: Precision Agriculture. ASA-CSSA-SSSA, Madison, 1999, p.151-161.

LARSCHEID, G., BLACKMORE, B.S., MOORE, M. *Management decisions based on yield maps.* In: Precision Agriculture. ASA-CSSA-SSSA, Madison, 1997, p.895-904.

MANTOVANI, E.C. *Agricultura de Precisão e sua organização no Brasil*. Agricultura de Precisão, ANAIS DO SIMPÓSIO REALIZADO NA UNIVERSIDADE DE VIÇOSA, 2000, Viçosa, p.77-92.

MOLIN, J.P. *Geração e interpretação de mapas de produtividade para agricultura de precisão*. Agricultura de Precisão, ANAIS DO SIMPÓSIO REALIZADO NA UNIVERSIDADE DE VIÇOSA, 2000, Viçosa, p.237-257.

MOORE, M. *An investigation into the accuracy of yield maps and their subsequent use in crop management*. Cranfield University, Silsoe, 1997.

MURPHY, D.P., SCHUNG, E., HANEKLAUS, S. (1995) *Yield Mapping – a guide to improved techniques and strategies*. Proc. 2nd International Conference on Site-Specific Management for Agricultural Systems, P.C. Robert, R.H. Rust and W.E. Larson, (Eds), Minneapolis, American Society of Agronomy.

PERSSON, K., MOLLER, L. *Development and implementation of site specific fertilization in Denmark. Methods and results*. In: Precision Agriculture. ASA-CSSA-SSSA, Madison, 1997, p.329-336.

QUEIROZ, D.M., DIAS,G.P., MANTOVANI, E. C. *Agricultura de Precisão na Produção de Grãos*. Agricultura de Precisão, ANAIS DO SIMPÓSIO REALIZADO NA UNIVERSIDADE DE VIÇOSA, 2000, Viçosa, p.1-42.

RUNGE, E.C.A., HONS, F.M. *Precision Agriculture – Development of a Hierarchy of Variables Influencing Crop Yields*. In: Precision Agriculture. ASA-CSSA-SSSA, Madison, 1998, p.143-157.

SARAIVA, M. A., CUGNASCA, C. E., HIRAKAWA, A.R. *Aplicação em taxa variável de fertilizantes e sementes*. Agricultura de Precisão, ANAIS DO SIMPÓSIO REALIZADO NA UNIVERSIDADE DE VIÇOSA, 2000, Viçosa, p.109-145.

SCHUELLER, J.K. *A review and integrating analysis of Spatially-Variable Crop Control production.* Fertilizer Research, The Hague, v.33, p.1-34,1992.

STAFFORD, J.V. *An investigation into the within – field spatial variability of grain quality.* In: Precision Agriculture. ASA-CSSA-SSSA, Madison, 1999, p.353-361.

THYLÉN, L., JÜRSCHIK, P., MURPHY, D.P.L. *Improving the quality of yield data.* In: Precision Agriculture. ASA-CSSA-SSSA, Madison, 1997, 743-750.

VALENTINI, M.L., GIMENEZ, L.M. *O que você precisa saber sobre Agricultura de Precisão.* Informativo Fundação ABC, ano 2. n.9, Castro, 2000.

VOLL, E. *Agricultura de precisão: Manejo de plantas daninhas.* Agricultura de Precisão, ANAIS DO SIMPÓSIO REALIZADO NA UNIVERSIDADE DE VIÇOSA, 2000, Viçosa, p.181-202.

YANG, C., ANDERSON, G.L., KING, J.H., CHANDLER, E.K. *Comparison of Uniform and Variable Rate Fertilization Strategies Using Grid Soil Samplig, Variable Rate Technology, and Yield Monitoring.* In: Precision Agriculture. ASA-CSSA-SSSA, Madison, 1998, p.675-685.

