

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ – CAMPUS CASCAVEL  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**SOFTWARE PARA DEFINIÇÃO E AVALIAÇÃO DE UNIDADES DE MANEJO EM  
AGRICULTURA DE PRECISÃO**

**CLAUDIO LEONES BAZZI**

**CASCAVEL– Paraná - Brasil**

**Dezembro - 2011**

**CLAUDIO LEONES BAZZI**

**SOFTWARE PARA DEFINIÇÃO E AVALIAÇÃO DE UNIDADES DE MANEJO EM  
AGRICULTURA DE PRECISÃO**

**Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola, área de concentração Engenharia de Sistemas Agroindustriais.**

**Orientador: Dr. Eduardo Godoy de Souza**

**Co-orientadores: Dr. Miguel Angel Uribe Opazo e Dr. Sílvio César Sampaio**

**CASCADEL– Paraná - Brasil**

**Dezembro – 2011**

## CLAUDIO LEONES BAZZI

“Software para definição e avaliação de unidades de manejo em agricultura de precisão”

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação “*Strictu Sensu*” em Engenharia Agrícola, em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola, área de concentração Sistemas Agroindustriais, **aprovada** pela seguinte banca examinadora.

Orientador: Professor Dr. Eduardo Godoy de Souza  
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE – Cascavel/PR

Professor Dr. Marcos Milan  
Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, ESALQ – São Paulo/SP

Professor Dr. Tiago Roque Benetoli da Silva  
Universidade Estadual de Maringá, UEM – Umuarama/PR

Professora Dra. Lúcia Helena Pereira Nóbrega  
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE – Cascavel/PR

Professor Dr. Márcio Furlan Maggi  
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE – Cascavel/PR

Cascavel, dezembro de 2011.

## BIOGRAFIA

Claudio Leones Bazzi nasceu em 02 de julho de 1980, na cidade de Medianeira, Paraná, Brasil e cursou Tecnologia em Processamento de Dados no Centro de Educação Superior de Foz do Iguaçu – CESUFOZ durante os anos de 1999 e 2001. Cursou especialização em Computação aplicada na União Educacional de Cascavel (UNIVEL) nos anos de 2001 e 2002 e especialização em Redes de Computadores na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), *campus* de Medianeira nos anos de 2006 e 2007. Ingressou no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PGEAGRI) na Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), *campus* de Cascavel, no segundo semestre de 2004, como aluno especial e em 2005, como aluno regular do mestrado na área de concentração de Sistemas Agroindustriais, sob orientação do professor Dr. Eduardo Godoy de Souza. Concluiu o mestrado em fevereiro de 2007 com a dissertação intitulada “Distância entre passadas da colhedora com monitor de colheita nos mapas de produtividade e teor de água na cultura do milho”. Em 2008, foi selecionado pelo PGEAGRI para a realização do doutorado na área de concentração de Sistemas Agroindustriais, orientado pelo professor Dr. Eduardo Godoy de Souza.

Suas experiências profissionais atreladas à área de docência são: Professor do Centro de Ensino Superior de Foz do Iguaçu (CESUFOZ), na área de informática, nos anos de 2006, 2007 e 2008, sendo no último ano coordenador do curso superior de Tecnologia em Redes de Computadores. Desde 2008 atua como professor assistente no curso superior de Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas da (UTFPR), *campus* de Medianeira. Nessa universidade, é o atual coordenador do curso de Especialização em Bancos de Dados – Administração e Desenvolvimento e atual coordenador do curso de Bacharelado em Ciência da Computação.

Aos meus pais, Valmor e Vilma e à minha irmã, Elizangela, pelo amor, apoio, incentivo e compreensão em minhas ausências.

Ao meu orientador, Eduardo, e a sua esposa, Suely, pela compreensão e apoio, em especial pelo tempo que passamos fora do País como uma família.

A todos que acreditaram e me apoiaram de uma forma ou de outra para conclusão deste trabalho.

DEDICO e OFEREÇO.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que de uma forma ou de outra me auxiliaram na elaboração deste trabalho, em especial, para os que além do auxílio, me deram apoio e incentivo que foram, sem sombra de dúvidas, essenciais;

À UNIOESTE, campus Cascavel, em especial ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, por me oportunizar a realização desta etapa de formação acadêmica;

Ao professor Dr. Eduardo Godoy de Souza pelo apoio, incentivo e encaminhamentos, bem como por acreditar no meu potencial;

À professora Dra. Lúcia Helena Pereira Nóbrega, pelo apoio na revisão do material bibliográfico elaborado como requisito para meu estágio de docência, bem como pela gentileza de oferecer ambientes para realização de procedimentos e armazenamento de materiais utilizados neste trabalho;

Ao professor Dr. Sílvio César Sampaio, pelo apoio, orientação e por oportunizar a condução de experimentos em laboratórios sob sua coordenação;

Ao professor Dr. Miguel Angel Uribe Opazo, pela orientação e apoio;

À equipe de professores e colaboradores do PGEAGRI, pelos ensinamentos adquiridos nas disciplinas cursadas e apoio na participação de eventos, assim como na viabilização de meu estágio doutoral nos Estados Unidos;

Ao professor Dr. Raj Khosla, por oportunizar meu estágio doutoral da Universidade Estadual do Colorado (CSU) pelo período de três meses;

Aos colegas de curso, Márcia, Flávio, Davi, Ricardo, Nelson, Eloi, Diego, Tatiane e Fernando, pelo apoio, amizade, auxílio nas atividades de laboratório e campo, bem como pela compreensão;

Ao Eng. Agassiz Linhares Neto, pela cessão da área de onde foram levantados os dados utilizados neste trabalho;

Aos meus alunos da UTFPR, Juliano, Kelyn, Murilo e João, pelo auxílio no desenvolvimento de minhas atividades;

À equipe de professores do curso de Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas da UTFPR e à direção do câmpus Medianeira, pela compreensão apoio e companheirismo ao longo desta caminhada;

À Fundação Parque Tecnológico Itaipu (FPTI), pelo apoio financeiro por meio da bolsa de estudos a mim concedida, assim como na participação de eventos;

Enfim, a toda minha família, pelas orações, compreensão e motivação. Muito obrigado!

# SOFTWARE PARA DEFINIÇÃO E AVALIAÇÃO DE UNIDADES DE MANEJO EM AGRICULTURA DE PRECISÃO

## RESUMO

A conservação da água e do solo é de fundamental importância para a gestão dos recursos hídricos. Para isso, são desenvolvidas e aplicadas ações conservacionistas que compreendem um conjunto de medidas que possibilitam a gestão da oferta, por meio da adequada recarga dos aquíferos e da melhoria de sua qualidade, a partir da redução dos processos erosivos e do volume de efluentes lançados nos lagos e rios. Algumas dessas ações estão relacionadas à agricultura de precisão, a qual visa, além do aumento da produtividade, diminuir tanto os custos como o impacto ambiental a partir do gerenciamento localizado da lavoura. Neste contexto, esta pesquisa teve como objetivo principal a elaboração de um software para definição de unidades de manejo, com métodos empíricos e de agrupamento para auxiliar na conservação do solo e da água. A ferramenta computacional, multiplataforma, fornece a possibilidade de entrada e saída de dados a partir de padrões específicos, realiza a geração de mapas temáticos por métodos conhecidos de interpolação (Inverso da distância elevado à determinada potência, média móvel e vizinho mais próximo) e permite avaliar unidades de manejo, geradas utilizando métodos de eficiência relativa e teste de comparação de médias. O software foi testado a partir dos dados físicos, químicos e da produtividade da soja, sendo geradas e avaliadas as unidades de manejo. Dados provenientes de água lixiviada foram analisados, visando identificar se unidades de manejo podem ser utilizadas para identificar locais com maior potencial à lixiviação. O uso do software possibilitou a geração de unidades de manejo de forma facilitada, bem como a realização de análises sobre as mesmas. Logo, permitiu identificar que as unidades de manejo geradas podem ser utilizadas como fonte de recomendação e análise da maior parte dos atributos estudados. Com exceção do nitrogênio, os demais atributos apresentaram-se com o mesmo potencial de lixiviação, conforme teste de comparação de retas.

**Palavras-chave:** software, agricultura de precisão, lixiviação

# SOFTWARE FOR DEFINITION AND EVALUATION OF MANAGEMENT ZONES IN PRECISION AGRICULTURE

## ABSTRACT

Water and soil conservation is essential for water resources management. Thus, conservationist actions are developed and applied in order to make part of a set of measures which enable the supply management, based on an appropriate recharge of the aquifers as well as the improvement of their quality, from the reduction of erosive processes and volume of effluents discharged in lakes and rivers. Some of these actions are associated to the precision agriculture, which aims at improving yield, reducing costs as well as the environmental impact by a site-specific management in an agricultural area. Thus, the main goal of this research is the development of software to determine the management zones, using empirical and grouping methods to be applied for soil and water conservation. This software tool, multiplatform, provides the ability to input and output data through specific standards, draws thematic maps according to well-known methods of interpolation (inverse of distance, moving average and the nearest neighbor) As well as evaluates management zones, generated by methods of relative efficiency and comparison test of averages. The software was tested according to physical and chemical data and soybean yield, so that management zones were generated and evaluated. Water leaching data were analyzed if the management zones can be used to identify the places with the greatest potential for leaching. The use of software allowed the generation of management zones in an easier way, as well as their analyses. Therefore, it identified that the generated management zones could be used as a source of recommendation and analysis of most of the studied attributes. Except nitrogen, the other attributes had the same potential for leaching, according to the comparison test of straight lines.

**Keywords:** software, precision agriculture, leaching

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	xii
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	xiii
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	3
2.1 Objetivo geral .....	3
2.2 Objetivo específico .....	3
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	4
3.1 Agricultura de precisão .....	4
3.2 Atributos do solo e produtividade .....	5
3.3 Unidades de manejo .....	8
3.3.1 Métodos empíricos .....	9
3.3.2 Métodos de agrupamento .....	11
3.3.3 Avaliação de unidades de manejo .....	15
3.3.4 Comparação de mapas temáticos .....	16
3.4 Softwares utilizados no ciclo de agricultura de precisão .....	17
3.5 Desenvolvimento de software .....	18
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	21
4.1 O software SDUM – Software para definição de unidades de manejo.....	21
4.1.1 Tecnologias utilizadas .....	21
4.1.1.1 Engenharia de software .....	21
4.1.1.2 Linguagem de programação .....	22
4.1.1.3 Sistema gerenciador de banco de dados .....	23
4.1.2 Definição de unidades de manejo .....	24
4.1.2.1 Importação de dados .....	25
4.1.2.2 Correlação espacial .....	26
4.1.2.3 Interpolação de dados .....	27
4.1.2.4 Geração de unidades de manejo .....	28
4.1.2.5 Avaliação de unidades de manejo .....	28
4.2 Avaliação do software SDUM .....	29
4.2.1 Descrição da área e da coleta de dados .....	29
4.2.1.1 Ensaio de lixiviação .....	30
4.2.2 Análise descritiva e exploratória dos dados .....	32
4.2.3 Interpolação de dados .....	33
4.2.4 Geração de unidades de manejo .....	33
4.2.5 Comparação de mapas temáticos .....	33

4.2.6	Avaliação das unidades de manejo .....	34
4.2.7	Avaliação das unidades de manejo por meio dos dados de lixiviação .....	35
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>36</b>
5.1	Análise exploratória e estatística descritiva .....	36
5.2	Criação de projeto e inserção de dados no software SDUM .....	38
5.3	Análise de correlação de dados .....	40
5.4	Geração de unidades de manejo .....	43
5.5	Avaliação de unidades de manejo .....	44
5.5.1	Avaliação do potencial produtivo das unidades de manejo.....	44
5.5.2	Avaliação das unidades de manejo como fonte de recomendação e análise .....	47
5.5.3	Avaliação das curvas de lixiviação por unidade de manejo .....	49
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>52</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>54</b>
	<b>APÊNDICE I – Módulo de gerenciamento de projetos .....</b>	<b>64</b>
	<b>APÊNDICE II – Módulo de manipulação de dados .....</b>	<b>68</b>
	<b>APÊNDICE III – Módulo de manipulação de dados não espaciais .....</b>	<b>75</b>
	<b>APÊNDICE IV – Módulo de interpolação de dados .....</b>	<b>93</b>
	<b>APÊNDICE V – Módulo de geração de unidades de manejo .....</b>	<b>98</b>
	<b>APÊNDICE VI – Módulo de correlação espacial .....</b>	<b>105</b>
	<b>APÊNDICE VII – Módulo de avaliação de unidades de manejo .....</b>	<b>109</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Classificação das partículas do solo conforme classificação de Kiehl (1979) .....	6
Tabela 2	Tabela de classificação (quatro classes) de unidades de manejo a partir da produtividade normalizada e do coeficiente de variação (MOLIN, 2002).....	10
Tabela 3	Tabela de classificação (seis classes) de unidades de manejo a partir da produtividade normalizada e do coeficiente de variação (MOLIN, 2002).....	10
Tabela 4	Tabela de classificação de unidades de manejo considerando a produtividade padronizada e o coeficiente de variação (MILANI et al., 2006).....	11
Tabela 5	Estatística descritiva dos atributos físicos e químicos do solo .....	36
Tabela 6	Níveis de interpretação dos atributos químicos do solo com a porcentagem encontrada nos pontos amostrais na área experimental .....	38
Tabela 7	Ordem de classificação de <i>layers</i> candidatas à geração de unidades de manejo .....	41
Tabela 8	Índices de comparação dos mapas gerados pelos métodos K-Means e Fuzzy C-Means .....	43
Tabela 9	Índices de comparação dos mapas gerados pelos softwares SDUM e FuzzMe, utilizando o método Fuzzy C - Means .....	44
Tabela 10	Estatística descritiva e eficiência relativa dos dados de produtividade separados por unidade de manejo gerada pelo algoritmo K-Means .....	45
Tabela 11	Estatística descritiva e eficiência relativa dos dados de produtividade separados por unidade de manejo, gerada pelo algoritmo Fuzzy C - Means .....	46
Tabela 12	Estatística descritiva dos dados separados por unidade de manejo, gerada pelo algoritmo K - Means .....	48
Tabela 13	Estatística descritiva dos dados separados por unidade de manejo, gerada pelo algoritmo Fuzzy C-Means.....	49
Tabela 14	Teste de comparação dos coeficientes angulares e lineares das curvas de eluição, a partir do pico de concentração até aproximadamente 4 volumes de poros .....	50
Tabela 15	Totais lixiviados e resultados de análise química por unidade de manejo ...	51

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Fluxograma do algoritmo K-Means .....	12
Figura 2	Fluxograma do algoritmo Fuzzy C-Means .....	13
Figura 3	Ambiente de trabalho do software ArgoUML 0.24 .....	22
Figura 4	Ambiente de desenvolvimento do IDE Eclipse .....	22
Figura 5	Ambiente de gerenciamento do banco de dados PostgreSQL (pgAdmin III) .....	23
Figura 6	Fluxograma de funcionamento do software SDUM na geração de unidades de manejo .....	24
Figura 7	Estrutura de gerenciamento do software .....	25
Figura 8	Modelo de arquivo de importação para o cadastro de áreas .....	26
Figura 9	Modelo de arquivo de importação para o cadastro de amostras .....	26
Figura 10	Delimitação da área experimental no software Google Earth .....	29
Figura 11	Grades amostrais de coleta dos atributos avaliados na área experimental .....	30
Figura 12	Solo coletado em campo, destorroado e peneirado .....	31
Figura 13	Coluna de solo e bomba peristáltica durante o procedimento de saturação do solo com solução 0,01 M de CaCl <sub>2</sub> .....	31
Figura 14	Gráficos do Box-Plot para todos os atributos obtidos na área experimental .....	37
Figura 15	Interfaces utilizadas na criação de projetos no software SDUM .....	39
Figura 16	Ambiente de trabalho do software SDUM com o projeto sendo manipulado .....	39
Figura 17	Matriz de correlação cruzada gerada pelo software SDUM .....	42
Figura 18	Unidades de manejo geradas utilizando o algoritmo K-Means e a <i>layer</i> altitude .....	43
Figura 19	Unidades de manejo geradas utilizando o algoritmo Fuzzy C-Means e a <i>layer</i> altitude .....	43
Figura 20	Mapas de unidades de manejo gerado pelo software FuzzMe e apresentados pelo software Surfer10 .....	44
Figura 21	Gráfico de Box-Plot separado por unidade de manejo, gerada pelo algoritmo K-Means para os dados de produtividade .....	45
Figura 22	Gráfico de Box-Plot separado por unidade de manejo, gerada pelo algoritmo Fuzzy C-Means para os dados de produtividade .....	46
Figura 23	Gráficos de lixiviação separados por unidade de manejo .....	50

## 1 INTRODUÇÃO

Devido à importância e à necessidade de se manter uma boa relação entre a produção agrícola e o meio ambiente, medidas restritivas sobre uso da terra são foco de discussões políticas para a elaboração de leis que objetivam a proteção do meio ambiente e a manutenção adequada dos corpos d'água. Com o mesmo objetivo, são utilizadas práticas agrícolas que visam manter altos padrões de produção e reduzir o impacto ambiental causado.

A agricultura de precisão (AP) pressupõe a utilização de técnicas aplicadas a fim de otimizar e gerenciar a lavoura de forma localizada, pois permite monitorar a variabilidade espacial e as características que influem no desenvolvimento das culturas. A partir do aumento da eficiência de uso da terra e dos insumos, busca-se diminuir o impacto ambiental com a redução da contaminação das águas e erosão, aumento da produtividade e redução dos custos de produção.

A AP pode ser considerada a forma ideal de cultivo se desenvolvida de forma a seguir todos os critérios de recomendação e conceitos nos quais se baseia. A área de plantio é mapeada e são corrigidas todas as restrições em relação às necessidades da planta, sem desperdícios, assim, a planta tem um local propício para o desenvolvimento e consequentemente produtividade satisfatória. Como o manejo e a aplicação de insumos são realizados de forma localizada, há uma diminuição de riscos de contaminação do solo e da água causados pelo excesso de certos nutrientes que podem ser lixiviados pela ação das águas da chuva.

A tecnologia de AP vem sendo utilizada de forma tímida no País, principalmente, devido ao seu alto custo de implantação. A necessidade de utilização de inúmeros equipamentos e máquinas equipadas com sensores e sistemas computacionais (normalmente de custo elevado), além de pessoal especializado para manipulação dos dados coletados em campo, torna a tecnologia pouco viável principalmente para os pequenos produtores.

Para que possa ser viabilizada a qualquer produtor rural, inúmeras pesquisas vêm sendo desenvolvidas visando às adaptações nos conceitos de AP. Essas pesquisas se baseiam em uma mescla de conceitos de AP e no sistema tradicional de cultivo, logo, não é necessária a substituição das máquinas e equipamentos comumente utilizados. Apesar de não haver resultados ideais, a utilização de tais técnicas pode auxiliar o produtor no manejo de sua área de plantio e manter padrões satisfatórios de produção, com impacto ambiental e custos reduzidos.

A divisão das áreas produtivas em subáreas consideradas homogêneas (unidades de manejo) é uma prática utilizada com bons resultados. Em cada subárea, demarcada

previamente, a aplicação de insumos é realizada de forma constante, normalmente considerando a média amostral de cada unidade de manejo, utilizando equipamentos tradicionais. A alteração nas dosagens aplicadas ocorre somente quando houver a alteração da localização das operações para outra unidade de manejo.

Para definição das unidades de manejo, são utilizados métodos empíricos ou de agrupamento, os quais visam dividir a área em normalmente duas ou três unidades de manejo considerando fatores capazes de representarem o potencial produtivo do solo. Dentre os métodos empíricos, os da produtividade normalizada e da produtividade padronizada visam definir unidades de manejo por meio da produtividade da cultura e exigem que pelo menos sejam utilizados dados de dois a três anos. A classificação por agrupamento utiliza métodos matemáticos e estatísticos para este fim, sendo bastante conhecidos os algoritmos K-Means e Fuzzy C-Means (este considerado mais eficiente).

Apesar de existirem técnicas presentes na bibliografia, a implementação e a avaliação das unidades de manejo são etapas normalmente demoradas e necessitam de conhecimento prévio avançado sobre sua metodologia de criação e utilização de softwares, devido ao volume expressivo de dados a serem manipulados e necessitar de inúmeros softwares para completar todo o processo.

Neste sentido, o presente trabalho objetivou o desenvolvimento de um software que permite, além da definição de unidades de manejo, a análise das mesmas de forma facilitada, para que possa ser utilizada como ferramenta por produtores que buscam trabalhar com AP.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver e avaliar um software para definição de unidades de manejo a partir de dados de propriedades químicas, físicas, texturais do solo e de produtividade.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar e comparar os seguintes métodos de definição de unidades de manejo:
  - 1) da produtividade normalizada;
  - 2) da produtividade padronizada;
  - 3) do algoritmo K - Means;
  - 4) do algoritmo FuzzyC - Means;
- Avaliar metodologias para avaliação de unidades de manejo;
- Utilizar o software desenvolvido para definir unidades de manejo a partir dos dados químicos, físicos, texturais e de produtividade da soja em uma área comercial de 19,8 ha;
- Avaliar o potencial de lixiviação das unidades de manejo geradas para reduzir os riscos ambientais de contaminação de lençol freático com técnicas de agricultura de precisão.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 AGRICULTURA DE PRECISÃO

A agricultura de precisão (AP) pressupõe a aplicação no local correto e no momento adequado das quantidades de insumos necessários à produção agrícola, para áreas cada vez menores e mais homogêneas, tanto quanto a tecnologia e os custos envolvidos permitirem. Para sua viabilização, necessita-se investigar a variabilidade espacial e temporal das variáveis envolvidas e os fatores limitantes (físicos, químicos e biológicos), bem como propor alternativas de manejo, diferenciadas de acordo com a necessidade de cada sub-região da lavoura (DOBERMANN & PING, 2004). Com a AP espera-se um menor impacto ambiental, redução da contaminação da água e dos alimentos, os quais ainda proporcionem a redução do processo erosivo (LAMPARELLI et al., 2001; ANGELICO & SILVA, 2006).

Para Blackmore & Larscheid (1997), a AP pressupõe o manejo da variabilidade que pode ser classificada como: espacial, temporal e preditiva. A variabilidade espacial mede as mudanças do atributo na área e, em geral, é expressa através de mapas temáticos. A variabilidade temporal mede a mudança do valor local do atributo em função do tempo. Por último, a variabilidade preditiva mede a diferença entre a previsão de algum valor de atributo e o valor que efetivamente ocorreu. Para que essas variabilidades possam ser gerenciadas é necessário medi-las e compreendê-las.

Máquinas e equipamentos (tais como clorofilômetro, penetrógrafo, medidores de condutividade elétrica, monitores de produtividade), assim como metodologias (FRANZEN & PECK, 1995; ANDERSON-COOK et al., 1999) surgiram a fim de diminuir os custos, BM como para agilizar o processo de amostragem e aumentar o conhecimento sobre questões que possam influenciar a produtividade. Para a obtenção e manipulação desses dados se faz necessário um bom grau de automatização que depende de tecnologias modernas, muitas delas apenas adaptadas para o meio agrícola (MOLIN, 2009).

O ideal é que a utilização da AP siga um ciclo fechado de tarefas, as quais sejam executadas considerando o período de desenvolvimento das culturas e condições da lavoura. A realimentação permite que se avalie a adequação da estratégia utilizada e se refine cada vez mais todo o processo (AMADO et al., 2004).

Para Shatar & Mcbratney (1999), a prática de AP combina dados coletados em campo cuja finalidade é determinar e corrigir problemas localizados dentro da lavoura. Desta forma, otimizam-se a aplicação de insumos, bem como as operações agrícolas, visando minimizar a erosão, o escoamento superficial e a contaminação da água por lixiviação de certos nutrientes.

Conforme Gentil & Ferreira (1999), a AP promete vários benefícios para os usuários deste sistema. Dentre eles estão a redução dos custos de produção, a tomada de decisão rápida e certa, o aumento da produtividade e a redução do impacto ambiental. Entretanto, a AP demanda um número elevado de dados para que se possam obter resultados satisfatórios (TSCHIEDEL & FERREIRA, 2002).

### **3.2 ATRIBUTOS DO SOLO E PRODUTIVIDADE**

Para Silva & Chaves (2001), a produtividade agrícola de uma área é influenciada, dentre outros fatores, pelas propriedades químicas e físicas do solo. Esses, combinados com o clima, dão suporte para que a cultura se desenvolva e assim apresente como resultado a produtividade. Para Vale et al. (2001), a fertilidade do solo, em sua definição mais simples, pode ser considerada como a capacidade dos solos em suprir nutrientes às plantas.

Os solos diferem entre si em uma série de características e propriedades, podendo ser encontradas variações em composição mineralógica, granulométrica, profundidade, riqueza em nutrientes, retenção de água, porosidade, entre outros. É difícil, e frequentemente impossível, precisar como cada uma dessas variáveis irá afetar a produtividade das culturas (RAIJ, 1991). Segundo Siqueira et al. (1999), a ciência e a tecnologia da produção agrícola emergem, gradualmente, um novo paradigma que é sustentado na relação entre recursos e fatores de produção e nas inter-relações entre os processos do sistema solo-planta, especialmente entre fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas.

Indispensável para a avaliação das características do solo, a análise química permite medir a quantidade de cada atributo, bem como identificar possíveis problemas nutricionais que possam influenciar a produtividade. Para Vale et al. (2001), ela corresponde ao ponto de partida para a correta avaliação da fertilidade e ocupa lugar de destaque como instrumento para recomendação de corretivos e fertilizantes (LOPES & GUILHERME, 1992).

Na análise de solo, podem ser determinados: pH, matéria orgânica, fósforo disponível, potássio, cálcio, magnésio, acidez potencial (H +Al), cobre, ferro, manganês, zinco e alumínio trocável, dentre outros. A finalidade da análise química do solo é determinar qual quantidade de nutrientes o solo será capaz de fornecer às plantas e quais quantidades e características do insumo devem ser aplicadas para se ter um bom rendimento da cultura. A análise do solo serve ainda para verificar se há acidez superficial, a qual dificulta ou impede o crescimento das raízes, fazendo com que a cultura não absorva o insumo aplicado ou os elementos do próprio solo (WOLLENHAUPT et al., 1997).

Conhecer a fertilidade do solo e das necessidades nutricionais das plantas permite a identificação e a definição das quantidades dos nutrientes essenciais. O carbono, o oxigênio e o hidrogênio (obtidos através do ar e da água) juntamente com o nitrogênio (N), o fósforo (P), o potássio (K), o cálcio (Ca), o magnésio (Mg) e o enxofre (S) constituem o grupo dos macronutrientes, os quais as plantas necessitam em maior quantidade. Van Raij (1983) e Malavolta (1981) classificam os macronutrientes como primários (N, P, K) e secundários (Ca, Mg, S). Outros elementos, apesar de absorvidos em menores quantidades, são também essenciais e conhecidos como micronutrientes. O ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn) e o cobre (Cu), desempenham funções essenciais no metabolismo da planta, sem os quais a produção das culturas é inviabilizada (GIANELLO et al., 1995).

As propriedades físicas do solo dizem respeito à capacidade de absorver e reter água, de circular o ar e à facilidade que oferece para a penetração das raízes das plantas. Atributos como a densidade e porosidade total permitem verificar se o solo apresenta condições adequadas para o desenvolvimento e exploração das raízes, além de indicarem se há problemas de compactação (RAMIREZ-LOPEZ et al., 2008).

Vieira & Klein (2007) relatam que dos componentes referentes ao manejo, o preparo do solo é a atividade que mais influi no seu comportamento físico, pois atua diretamente na sua estrutura, além de causar modificações na porosidade e densidade que afetam a retenção de água e a resistência mecânica à penetração, entre outros efeitos.

Rípoli et al. (1985) defendem que um parâmetro composto (resultado de combinações de ruptura), para Bradford (1986), influi no grau de dificuldade que o solo oferece ao desenvolvimento das raízes de determinada cultura, pois a resistência do solo à penetração não é um parâmetro independente, mas causado principalmente pela moto mecanização (WEIRICH NETO et al., 2006; FALKER, 2009; SILVA et al., 2004).

Duas propriedades elementares para entendimento dos solos correspondem à sua textura e forma estrutural. A textura corresponde ao tamanho das partículas minerais e a forma estrutural trata da estrutura pela qual as partículas são agrupadas entre si. Juntas, essas características fornecem apoio para determinar a capacidade de suprimento de nutrientes e fornecimento de água e ar, importantes para o desenvolvimento das plantas. Para determinação da textura, foram desenvolvidas classificações atreladas ao tamanho da partícula (Tabela 1). Conforme Kiehl (1979), há três classificações bem definidas (argila, silte e areia).

**Tabela 1** - Classificação das partículas do solo conforme classificação de Kiehl (1979)

Frações granulométricas	Limites de diâmetro (em mm)
Areia grossa	2,00 – 0,20
Areia fina	0,20 – 0,02
Silte	0,02 – 0,002
Argila	Abaixo de 0,002

Fonte: Kiehl (1979)

Apesar dos nutrientes do solo representarem um dos principais fatores reguladores no crescimento das plantas e terem papel importante na sustentabilidade do solo, quando disponibilizados em excesso, podem se tornar uma fonte de poluição ao penetrar no solo ou nos lençóis freáticos (WANG et al., 2009).

Dynia et al. (2006) discorreram sobre problemas encontrados com a prática agrícola inadequada referente ao nitrato e a suas formas inorgânicas. Para Conceição & Bonotto (2002), os resíduos agrícolas são a principal causa de contaminação das águas. Além da contaminação da água, o manejo inadequado do solo corresponde a um dos principais problemas de sedimentação dos corpos d'água.

No contexto da influência na qualidade das águas, a agricultura é tida como a principal consumidora e uma das principais poluidoras dos recursos hídricos, sendo a salinidade e a contaminação por nitrato os principais indicadores (ONGLEY, 2001; BROWN et al., 2000). Segundo Resende (2002), sob determinadas condições de solo e clima, o uso excessivo ou o manejo inadequado de fertilizantes pode acarretar o enriquecimento das fontes hídricas, promover a eutrofização e causar sérios prejuízos ao ambiente e à própria saúde humana.

Vários estudos foram realizados visando avaliar o impacto agrícola em corpos d'água. Volk et al. (2004) estudaram a erosão hidráulica influenciada por condições físicas de superfície do solo e concluíram que a erosão está diretamente relacionada à cultura praticada. Cordeiro (1999) aborda a questão dos impactos de resíduos e cita estudos de impactos físicos, químicos e biológicos em rios, bem como a toxicidade do alumínio em peixes.

Para Conceição & Bonotto (2002), em regiões com intensa atividade agrícola, a contaminação aquática ou do solo é resultado da disposição inadequada de resíduos, do não tratamento de efluentes e da lixiviação dos solos, onde há aplicação de defensivos agrícolas.

Para Raij (1991), é impossível prever a produtividade considerando cada atributo isoladamente, bem como a instabilidade da dinâmica de atuação dos atributos físicos e químicos do solo na produtividade, devido à inter-relação entre esses atributos. Inúmeros trabalhos avaliam a influência de cada atributo com os demais por meio de correlações lineares (SPERA et al., 2004; SILVA et al., 2008; LOSS et al., 2009) ou de correlações espaciais (SCHEPERS et al., 2004; MARTINS et al., 2009), visando identificar quais atributos estão correlacionados entre si e quais, de forma isolada, influenciam a produtividade da cultura. Tais correlações espaciais podem ser obtidas pela análise de correlação cruzada a fim de se verificar qual atributo está correlacionado de forma positiva ou negativa com outro ou avaliar se cada atributo apresenta autocorrelação espacial.

### 3.3 UNIDADES DE MANEJO

Apesar dos benefícios econômicos e ambientais da AP ainda não terem sido provados, esta tecnologia vem evoluindo desde as últimas décadas, tornando-se fundamental para o sucesso da atividade agrícola. Segundo Khosla et al. (2008), existem algumas incógnitas por parte de produtores os quais dificultam sua utilização de forma mais expressiva. Dentre os questionamentos levantados pelo pesquisador ao realizar um debate com produtores dos EUA estão: 1) consegue-se determinar a variabilidade espacial de atributos de forma menos onerosa? 2) a AP é economicamente viável?

Essas perguntas são foco de muitas pesquisas, haja vista a necessidade de não apenas respondê-las, mas que se desenvolvam técnicas e procedimentos a fim de se afirmarem tais respostas para os questionamentos. Dentre as pesquisas desenvolvidas visando à viabilidade econômica da AP, estão as de definição de unidades de manejo, as quais objetivam dividir as áreas produtoras em unidades de gerenciamento menores, que devem ser tratadas de forma diferenciada e sirvam como fonte de recomendação e análise. Para definir essas unidades de manejo, utilizam-se normalmente dados de produtividade, dados físicos e químicos do solo, condutividade elétrica, dados topográficos e a combinação entre eles, além do uso de modelagem estatística dos mesmos (HORNUNG et al., 2006; FLEMING et al., 2004; KHOSLA et al., 2002).

Para Rodrigues & Zimback (2002), a definição de unidades de manejo é uma alternativa para se viabilizar economicamente a AP, pois elas funcionam como unidades de operação para aplicação localizada de insumos e como indicadores para amostragem do solo e da cultura. Mesmo que a forma de trabalho não seja ideal, vários pesquisadores utilizaram as unidades de manejo com sucesso (STAFFORD et al., 1996; COLVIN et al., 1997; BLACKMORE, 2000; FRAISSE et al., 2001; MOLIN, 2002; RODRIGUES & ZIMBACK, 2002; JOHNSON et al., 2003; SCHEPERS et al., 2004; e MILANI et al., 2006).

Para Hornung et al.(2006), existem várias técnicas de definição de unidades de manejo propostas na bibliografia; algumas são mais viáveis economicamente, pois não fazem uso de amostras de solo, as quais encarecem o processo. Xiang et al. (2007) realizaram a divisão entre técnicas, a partir de duas abordagens: 1) com métodos empíricos, que usam frequência de distribuição de produtividade e conhecimento especializado para dividir o talhão, geralmente em três ou quatro partes; 2) e por métodos de análise de agrupamento fazendo uso de algoritmos como K-means e Fuzzy C-means.

As técnicas empíricas apresentadas por Swindell (1997) (Produtividade Normalizada) e por Larscheid & Blackmore (1996) (Produtividade Padronizada) fazem uso somente de dados de produtividade da cultura para definição de unidades de manejo e partem do pressuposto de que este dado corresponde à resposta da cultura. Como a produtividade

pode ser facilmente influenciada pelos fatores climáticos, tais metodologias visam remover a influência temporal de cada safra para posteriormente realizar a interpretação dos dados.

Os Métodos de agrupamento são bastante sugeridos para a definição de unidades de manejo (TAYLOR et al., 2003; TAYLOR et al., 2007; YAN et al., 2007) e incluem o uso de diversos atributos como: condutividade elétrica (JOHNSON et al., 2001), declividade e textura do solo (FERGUSON et al., 2003), nitrogênio (KHOSLA et al., 2002) e o uso simultâneo destes atributos (FRANZEN et al., 1999), entre outros. Apesar de haver a possibilidade de qualquer atributo que possa estar relacionado à produtividade da cultura, para Doerge (2000), o ideal é que se utilizem fontes de informação espacial, estáveis e previsíveis que estejam correlacionadas com a produtividade.

Os métodos de agrupamento mais utilizados para definição de unidades de manejo correspondem ao algoritmo K-Means (FRIDGEN, et al., 2004; RIBEIRO, et al., 2011) e ao Fuzzy C-Means (FRAISSE et al., 2001; STAFFORD et al., 1998; BOYDELL & MCBRATNEY, 2002; JAYNES et al., 2003; PING & DOBERMANN, 2003; YAN et al., 2007). Eles partem do mesmo pressuposto de minimização da distância entre o centróide (centro do agrupamento) e os valores das variáveis. Porém, eles se diferenciam pela robustez incorporada ao método Fuzzy C-Means, por Zadeh (1965), que introduziu a teoria da lógica Fuzzy ao algoritmo de divisão, aprimorado por Ruspini (1969).

### 3.3.1 MÉTODOS EMPÍRICOS

A partir da metodologia apresentada por Swindell (1997), Molin (2002) definiu unidades de manejo por mapas de produtividade. Foram avaliadas duas lavouras (uma no estado de São Paulo e outra no do Paraná), com três classes de produtividade (alta, média e baixa) e duas classes de consistência temporal (com e sem). O autor retirou a influência temporal dos dados de produtividade pela técnica de normalização (Equação 1) e calculou o coeficiente de variação (CV) entre os conjuntos de dados utilizados (Equação 2). Foram realizadas duas reclassificações com as classes de manejo, definidas nas Tabelas 2 e 3.

$$PN_{ij} = \frac{P_{ij}}{\bar{P}_j} \quad (1)$$

em que,  $PN_{ij}$  – Produtividade normalizada no ponto  $i$  no ano  $j$ ;  $P_{ij}$  - Produtividade original no ponto  $i$  no ano  $j$ ;  $\bar{P}_j$ –Produtividade média para o ano  $j$ .

$$CV_i = \frac{S_i}{\bar{P}_i} * 100 \quad (2)$$

em que,  $CV_i$  - Coeficiente de variação da produtividade no ponto  $i$ ;  $S_i$  – Desvio padrão da produtividade para o ponto  $i$  em relação a todos os mapas normalizados utilizados;  $\bar{P}_i$  – Produtividade média para o ponto  $i$ .

**Tabela 2** - Tabela de classificação (quatro classes) de unidades de manejo a partir da produtividade normalizada e do coeficiente de variação (MOLIN, 2002)

Classe	Descrição	Produtividade Normalizada	Coeficiente de Variação
1	Alta e consistente	>1,05	≤ 30%
2	Média e consistente	0,95 – 1,05	≤ 30%
3	Baixa e consistente	< 0,95	≤ 30%
4	Inconsistente	-	> 30%

**Tabela 3** - Tabela de classificação (seis classes) de unidades de manejo a partir da produtividade normalizada e do coeficiente de variação (MOLIN, 2002)

Classe	Descrição	Produtividade Normalizada	Coeficiente de Variação
1	Alta e Consistente	> 1,05	≤ 30%
2	Média e Consistente	0,95 – 1,05	≤ 30%
3	Baixa e consistente	< 0,95	≤ 30%
4	Alta e Inconsistente	> 1,05	> 30%
5	Média e Inconsistente	0,95 – 1,05	> 30%
6	Baixa Inconsistente	< 0,95	> 30%

Milani et al. (2006) aplicaram o método de normalização padronizada (apresentado por Larscheid e Blackmore (1996)) e utilizado por Blackmore (2000) (com dados de 6 anos de produtividade) que considera, além do valor do atributo (normalmente a produtividade), da média geral e do desvio padrão (Equação 3), a partir da definição de unidades de manejo com dados de produtividade da soja, e dividiram o talhão em nove unidades de manejo (Tabela 4).

$$ZV_{ij} = \frac{P_{ij} - \bar{P}_j}{S_j} \quad (3)$$

em que,  $ZV_{ij}$  - produtividade padronizada no ponto  $i$  e no ano  $j$ ;  $P_{ij}$  – Produtividade no ponto  $i$  no ano  $j$ ;  $\bar{P}_j$  - Produtividade média no ano  $j$ ;  $S_j$  - Desvio padrão do produtividade no ano  $j$ .

O cálculo do coeficiente de variação (Equação 2) é realizado em função dos conjuntos gerados a partir da produtividade padronizada equivalente (Equação 4) devido à impossibilidade de se calcular o coeficiente de variação dos dados normalizados pelo método proposto, considerando a média zero. Neste caso, não se utilizam os conjuntos de dados padronizados, pois podem gerar valores acima da realidade.

$$ZVe_{ij} = ZV_{ij} \times \bar{S}_t + \bar{P}_t \quad (4)$$

em que,  $ZV_{ij}$  corresponde à produtividade padronizada equivalente no ponto  $i$ , no ano  $j$ ;  
 $\bar{S}_t$  - média dos desvios padrão nos  $t$  anos;  $\bar{P}_t$  - média das observações médias dos  $t$  anos

**Tabela 4** - Tabela de classificação de unidades de manejo (MILANI et al., 2006)

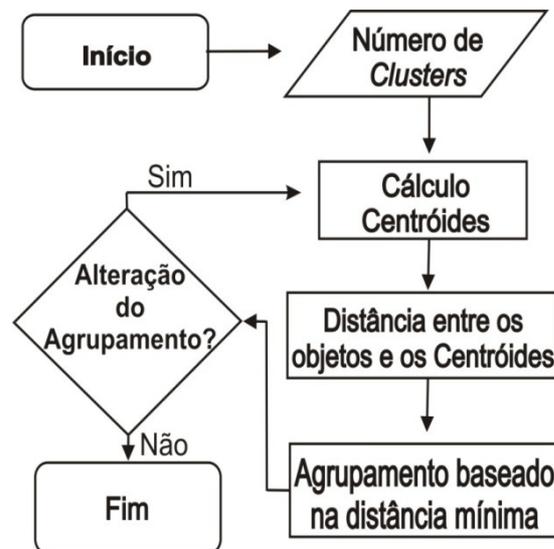
Classes	Produtividade Padronizada	Coefficiente de Variação
1	< 33º percentil	< 10%
2	< 33º percentil	10% - 30%
3	< 33º percentil	> 30%
4	33º - 67º percentil	< 10%
5	33º - 67º percentil	10% - 30%
6	33º - 67º percentil	> 30%
7	> 67º percentil	< 10%
8	> 67º percentil	10% - 30%
9	> 67º percentil	> 30%

### 3.3.2 MÉTODOS DE AGRUPAMENTO

Para Fraisse et al. (2001), a definição de unidades de manejo pelo método empírico está sujeita a decisões subjetivas. Entretanto, outras técnicas como a do algoritmo K-means ou esse relacionado à lógica nebulosa *Fuzzy* (inserida por Zadeh (1965) e aprimorada por Ruspini (1969)) podem realizar o zoneamento automaticamente e formar agrupamentos (*clusters*), sem a subjetividade da divisão em classes escolhidas pelo técnico (FRIDGEN et al., 2004).

O algoritmo de classificação K-Means tem a finalidade de agrupar objetos de atributos em  $K$  grupos, bem como minimizar a soma dos quadrados das distâncias entre dados e os centróides correspondentes a cada agrupamento. O algoritmo funciona de maneira iterativa (Figura 1), visando adicionar o centróide de cada agrupamento o mais próximo possível dos dados a serem agrupados.

A lógica Fuzzy aproxima uma função por associações linguísticas de entrada e saída de dados e aplica regras Fuzzy para a teoria dos conjuntos, com o objetivo de resolver problemas que uma teoria mais rígida teria dificuldade de modelar. Tem a intenção de fornecer um tratamento matemático a certos termos linguísticos subjetivos, tais como 'aproximadamente', 'dentre outros' e 'em torno' (BARROS & BASSANEZI, 2006).



**Figura 1** - Fluxograma do algoritmo K-Means.

Os algoritmos de agrupamento permitem a divisão de um conjunto de dados em  $C$ -clusters, tendo como referência um centro de massa ou centróide para cada cluster formado. Neste método, a escolha do valor das classes não é configurável, sendo por isto considerada uma vantagem em relação aos delineamentos empíricos (FRIDGEN et al., 2004; LUZ, 2004).

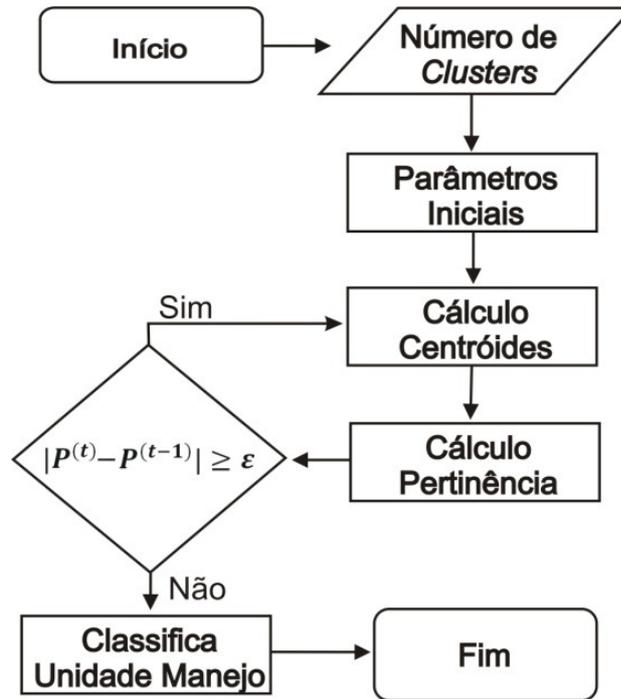
Estatisticamente, a técnica *Fuzzy C-means* minimiza a soma dos quadrados dos erros dentro de cada classe e segue alguns critérios. Segundo Venturieri (1996), os dados são agrupados de forma iterativa para a classe mais próxima pelo critério da mínima distância.

O método considera que um conjunto de dados  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  onde  $x_k$  corresponde a um vetor de características  $x_k = \{x_{k1}, x_{k2}, \dots, x_{kp}\} \in R^p$  para todo  $k \in \{1, 2, \dots, n\}$ , sendo  $R^p$  o espaço  $p$ -dimensional. Busca-se encontrar uma pseudo-partição *Fuzzy* que corresponda a uma família de  $C$  conjuntos *Fuzzy* de  $X$ , que representa a estrutura dos dados da melhor forma possível, e é denotado por  $P = \{A_1, A_2, \dots, A_C\}$ , que satisfaz

$\sum_{i=1}^c A_i(x_k) = 1$  e  $0 < \sum_{k=1}^n A_i(x_k) < n$ , em que  $k \in \{1, 2, \dots, n\}$ , e  $n$  representa o número de elementos de  $X$ .

O algoritmo se orienta com parâmetros referentes ao número de agrupamentos que se deseja ter ( $C$ ), uma medida de distância permitida entre os pontos e os centróides ( $m \in (1, \infty)$ ) e um erro utilizado como critério de parada ( $\epsilon > 0$ ). A pertinência inicial é atribuída aleatoriamente visando iniciar com valores quaisquer, bem como os  $C$  centros iniciais que não devem possuir os mesmos valores iniciais devido a problemas que podem

ocorrer durante a execução do algoritmo (BEZDEK, 1981). O funcionamento do algoritmo corresponde ao apresentado na Figura 2.



**Figura 2** - Fluxograma do algoritmo Fuzzy C-Means.

A posição de cada centróide é calculada considerando a distância passada por parâmetro inicialmente. Para cada  $C$ , calculam-se  $v_1^{(t)}, \dots, v_c^{(t)}$  (Equação 5) para a partição  $P^{(t)}$ , sendo a iteração  $t = \{1, 2, \dots, n\}$ . O vetor  $v_i$  corresponde ao centro do agrupamento  $A_i$  e é a média ponderada dos dados em  $A_i$ . O peso do dado  $x_k$  é a  $m$ -ésima potência do seu grau de pertinência ao conjunto Fuzzy  $A_i$ .

$$v_i = \frac{\sum_{k=1}^n [A_i(x_k)]^m x_k}{\sum_{k=1}^n [A_i(x_k)]^m} \quad (5)$$

O cálculo do grau de pertinência do elemento  $x_k$  à classe  $A_i$  (Equação 6) é realizado para cada  $x_k \in X$  e para todo  $i \in \{1, 2, \dots, c\}$ , se  $\|x_k - v_i^{(t)}\|^2 > 0$ .

$$A_i^{(t+1)}(x_k) = \left[ \sum_{j=1}^c \left( \frac{\|x_k - v_j^{(t)}\|^2}{\|x_k - v_i^{(t)}\|^2} \right)^{\frac{1}{m-1}} \right]^{-1} \quad (6)$$

em que,  $\|x_k - v_i^{(t)}\|^2$  representa a distância entre  $x_k$  e  $v_i$ .

Como critério de parada, comparam-se  $P^{(t)}$  e  $P^{(t+1)}$ , sendo que, se  $|P^{(t)} - P^{(t+1)}| \leq \varepsilon$  o algoritmo é finalizado e a classificação é realizada considerando a pertinência gerada na última iteração.

Os softwares FuzMe (MINASNY & MCBRATNEY, 2002) e Management Zone Analyst – MZA (FRIDGEN et al., 2004) são citados em muitas pesquisas (PING & DOBERMANN, 2003; FRIDGEN, et al., 2004) de definição de unidades de manejo utilizando-se a técnica Fuzzy C-Means, mas exigem que procedimentos adicionais sejam realizados tanto para seleção de *layers* (atributos estudados) que irão ser considerados para geração dos agrupamentos como para avaliação dos resultados.

A seleção de *layers* para geração de unidades de manejo por meio de métodos de agrupamento pode ser realizada pela correlação cruzada (SCHEPERS, 2004; REICH, 2008) (Equação 7). A correlação cruzada visa avaliar se amostras possuem correlação espacial (autocorrelação) e se entre dois atributos X e Y esta correlação também é significativa.

$$I_{YZ} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} * Y_i * Z_j}{W \sqrt{m_Y^2 * m_Z^2}} \quad (7)$$

em que,

$I_{YZ}$  - Corresponde ao nível de associação entre a variável Y e Z, variando de -1 a 1, sendo: correlação positiva  $I_{YZ} > 0$  e correlação negativa  $I_{YZ} < 0$ ;  $W_{ij}$  - é a matriz de associação espacial, sendo calculado por  $W_{ij} = (1/(1 + D_{ij}))$ , sendo  $D_{ij}$  a distância entre os pontos  $i$  e  $j$ ;  $Y_i$  - Valor da variável Y transformada no ponto  $i$ . A transformação se dá para se ter uma média zero, pela equação:  $Y_i = (Y_i - \bar{Y})$ , em que  $\bar{Y}$  é a média amostral da variável Y.  $Z_j$  - Valor da variável Z transformada no ponto  $j$ . A transformação ocorre para se ter uma média zero, pela equação:  $Z_j = (Z_j - \bar{Z})$ , em que  $\bar{Z}$  é a média amostral da variável Z. W – Soma dos graus de associação espacial, obtidos através da Matriz  $W_{ij}$ , para  $i \neq j$ ;  $m_Y^2$  - Variância amostral da variável Y;  $m_Z^2$  - Variância amostral da variável Z.

Após a computação de  $I_{YZ}$ , pode ser gerada a matriz de correlação espacial, a qual pode apresentar além do índice calculado  $I_{YZ}$  a significância do teste, bem como considerar a permutação dos dados onde são realizados testes de correlação e dos valores de uma das variáveis a serem comparadas. Segundo Assunção (2003), essa técnica é recomendada, mas exige um elevado grau computacional. Sob a hipótese  $H_0$ , as variáveis aleatórias  $Y_i$ , são independentes e identicamente distribuídas, assim todas as permutações dos valores  $Y_i$  entre as áreas são igualmente prováveis. Desta forma, o valor de  $p$  do teste é dado pela Equação 8.

$$p - \text{valor} = \frac{\text{ContSe} (I^{(j)}) > I^{(1)}, j = 1, \dots, n}{n + 1} \quad (8)$$

em que,  $n$  é o número de permutações;  $I$  - corresponde ao resultado da correlação apresentado pelo cálculo obtido na equação (7).

Rejeita-se a hipótese nula com  $\alpha$  de significância se  $p\text{-valor} < \alpha$ , ou seja, rejeita-se  $H_0$  com 0,05 se  $p\text{-valor} < 0,05$ .

### 3.3.3 AVALIAÇÃO DE UNIDADES DE MANEJO

Após a delimitação das unidades de manejo, independente do método utilizado, é importante que seja realizada a avaliação das mesmas a fim de se verificar se a delimitação representa diferença significativa no potencial produtivo da cultura; se pode ser tratada como unidade de gerenciamento isolada do restante do talhão e se pode servir como fonte de recomendação e análise para atributos químicos e físicos. Outro fator a se avaliar corresponde ao número de unidades de manejo criadas. Neste ponto, é notável que quanto menor a quantidade, mais facilitadas serão as operações em campo. Dobermann et al. (2003) comentam que há técnicas que podem ser utilizadas para avaliar o desempenho da geração de unidades de manejo, co destaque para o método proposto por Webster & Oliver (1990), referente à Redução da Variância (Equação 9) e à análise de variância (ANOVA), sendo que para essa análise, as amostras são consideradas como independentes dentro de cada unidade de manejo.

$$RV = 1 - \frac{S_{MZ}^2}{S_{AREA}^2} \quad (9)$$

em que,  $S_{MZ}^2$  é a soma da variância da produtividade de cada unidade de manejo, calculada separadamente, considerando a proporção do total da área que a unidade de manejo representa;  $S_{AREA}^2$  - variância da produtividade referente a toda a área.

Apesar de Xiang et al. (2007) utilizarem a redução da variância na avaliação da influência de delinear unidades de manejo sobre a variabilidade da produtividade e não terem encontrado resultados satisfatórios, pois trabalharam com uma área pequena (5,2 ha), os autores comentam que a definição do número ideal de unidades de manejo de uma área pode ser realizada com essa técnica de avaliação.

Xiang et al. (2007) comentam que com o aumento da quantidade de unidades de manejo, a variância relativa tende a diminuir até um momento que tende a se estabilizar. Este fato pode ser utilizado para determinar o número mínimo de unidades de manejo a

serem utilizadas e pode realizar testes de significância sobre as diferenças entre unidades de manejo utilizando a Eficiência Relativa – *ER* (Equação 10), sendo que se unidades de manejo sejam determinadas de forma correta,  $ER > 1$ .

$$ER = \frac{S_{AREA}^2}{S_{MZ}^2} \quad (10)$$

Para facilitar o entendimento e a avaliação individual de cada sub-região, Dobermann et al. (2003) elaboraram gráficos de Box-Plot para a comparação das unidades de manejo geradas por diferentes técnicas. Os gráficos de Box-Plot foram úteis para avaliar a distribuição dos dados entre unidades de manejo, bem como para identificar onde houve alterações de dados com diferentes técnicas de definição.

### 3.3.4 COMPARAÇÃO DE MAPAS TEMÁTICOS

O mapa temático representa certo número de conjuntos espaciais resultantes da classificação dos fenômenos que integram o objetivo de estudo. À medida que aumenta o conjunto de dados disponíveis, cresce também a capacidade de novas análises e novos mapas (ZIMBACK, 2003). Apesar de muitos estudos envolverem formas de comparação visual, sem que haja parâmetros de determinação ou classificação, esses se fazem necessários para a comparação de imagens (mapas temáticos) de forma condizente.

O índice Kappa tem sido utilizado na comparação de mapas temáticos gerados por diferentes interpoladores para uso em AP (BAZZI et al., 2009, SUZEK et al., 2007). Este índice (Kappa) permite realizar a classificação quantitativa (índice) e qualitativa (classificação proposta por Landis & Koch, 1977). Tal técnica analítica é baseada na análise multivariada discreta, sugerida por Congalton & Green (1993), para dados de sensoriamento remoto.

Segundo Cohen (1960), para o uso do índice Kappa, supõe-se que as unidades amostrais e as categorias sejam independentes. Para Congalton & Green (1993), o índice Kappa é um dos principais meios utilizados na determinação da exatidão de uma classificação temática. Ele adota uma referência para a comparação com os mapeamentos produzidos e utiliza matrizes de confusão também conhecidas como matrizes de erros.

A Exatidão Global é uma maneira usual para expressar a precisão de mapas e corresponde à porcentagem da área de mapa que foi corretamente classificada quando comparada com dados de referência (STORY & CONGALTON, 1986). Em seu cálculo é utilizada a classificação correta, gerada por amostragem dos dados classificados e expressa na forma de matriz de erro. Jensen (1986) sugeriu que a análise comparativa da precisão

específica local, através da matriz de erro, pode fornecer métodos mais eficientes para comparar a precisão de mapeamentos de uso da terra do que uma simples comparação de precisão através de uma estimativa global.

Foody (1992) ressaltou que o grau de concordância por chance poderia ser superestimado, pelo fato de incluir também a concordância real e que, por conta disso, a magnitude de Kappa não refletiria a concordância presente na classificação, apenas descontada a casualidade. Tal fato gerou o índice TAU para a medição da precisão de classificação, definido por Ma & Redmond (1995). Este índice é utilizado principalmente em geoprocessamento e propicia fácil entendimento e interpretação, uma vez que a concordância por chance é uma medida direta da classificação causal. Provê ainda clara indicação de como a classificação se comporta quando comparada com a identificação causal dos pixels às categorias ou classes. O cálculo do índice e da estimativa de variância é relativamente simples, uma vez que a concordância por chance é independentemente da matriz de contingência. Na formulação do coeficiente TAU, o valor da concordância causal é estabelecido *a priori* para evitar falhas em que incorram outros métodos de comparação como o da exatidão global e o coeficiente Kappa.

### **3.4 SOFTWARES UTILIZADOS NO CICLO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO**

Com o surgimento das técnicas de geoprocessamento e manipulação de imagens, inúmeros softwares surgiram para atender a essas necessidades, todavia, a maioria deles não foi projetada especificamente para trabalhar com áreas agrícolas (KUHAR, 1997). Como a agricultura de precisão é mais recente que a maioria dos softwares de geoprocessamento e manipulação de imagens, softwares dessa foram adaptados para atender a tal necessidade.

Na fase de coleta de dados, são utilizados softwares que permitam a entrada de dados georeferenciados, tais como o TracMaker<sup>®</sup> e PathFinder<sup>®</sup>, visando à comunicação com aparelhos receptores de GPS, os quais permitem a importação de dados para o computador. Esses softwares permitem avaliar o posicionamento e a magnitude dos dados e retirá-los, caso seja necessário. O PathFinder<sup>®</sup> permite, de forma facilitada, a criação da grade amostral e a definição de pontos de coleta. Neste sentido, podem-se definir os pontos amostrais e repassá-los para o receptor GPS utilizando o próprio software (SANTOS et al., 2009).

O software Minitab<sup>®</sup> é muito utilizado em análises exploratórias e descritivas dos dados por ser de fácil utilização (CORTEZ et al. 2009). De forma similar ao Minitab<sup>®</sup>, o software Statistica<sup>®</sup> possui as mesmas características e inúmeras funcionalidades, contudo, tem custo mais elevado, logo é menos difundido.

Para análise espacial de dados, são utilizados diversos softwares tais como Software R, GeoCac, GS+ e Surfer<sup>®</sup>. Cada um possui uma interface distinta, mas todos permitem a determinação dos parâmetros do semivariograma (efeito pepita, patamar e alcance). Softwares de interpolação tais como o R, ArcView<sup>®</sup> e Surfer<sup>®</sup> permitem elaborar mapas temáticos usando diferentes interpoladores (inverso da distância elevado a uma potência, krigagem, vizinho mais próximo), controlar o número de classes (*ranges*), cores e apresentação, além de efetuarem cálculos de área e operações sobre os mapas gerados.

Para geração de unidades de manejo, Minasny & Mcbratney (2002) e Ribeiro et al. (2011) utilizaram o software FuzMe. O software *Management Zone Analyst* – MZA (FRIDGEN et al., 2004) também é citado em muitas pesquisas (PING & DOBERMANN, 2003; FRIDGEN, et al., 2004) de definição de unidades de manejo utilizando a técnica Fuzzy C-Means.

### 3.5 DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE

Conforme Bezerra (2001), um software é composto pela combinação de tecnologia, dados, procedimentos de processamento e de pessoas que utilizam os resultados dos dados processados (informação), segundo métodos e técnicas que foram implementados. Para Pressmann (1995), o desenvolvimento de um software compreende etapas sequenciais sistemáticas, inicialmente pela análise das funcionalidades que o software deverá atender. Definidas as funcionalidades, parte-se para o desenvolvimento do projeto, o qual normalmente ocorre por representações gráficas, protótipos ou modelos. A próxima fase, a de codificação, é a etapa em que os modelos são transformados em código de máquina para execução das funcionalidades, entretanto, mesmo após codificada, cada funcionalidade deve ser testada de forma a identificar erros de execução.

Além de facilitar o trabalho de analistas na geração de documentos e modelos, o levantamento de requisitos é uma etapa essencial para análise e modelagem de qualquer sistema computacional. Faz-se necessário definir, antes da construção dos modelos, quais funcionalidades o software deverá conter e como o mesmo deverá atender, de forma específica, a cada uma das funcionalidades. Nesta etapa, é possível projetar as atividades e definir estratégias para seu desenvolvimento, para que se possam definir prazos e cumprilos corretamente (CAPERS, 2008).

Tendo em vista o apresentado por Bezerra (2007), verifica-se que o principal problema na especificação de requisitos é quanto à característica ou propriedade que o software deve possuir ou fazer. Para Filho (2003), um bom trabalho prévio de levantamento de necessidades minimiza pela metade os problemas com requisitos interpretados de forma inadequada.

O desenvolvimento de software, a partir do final da década de 1980, passou por uma fase de amadurecimento, com uma abordagem mais poderosa, a qual é conhecida como paradigma orientado a objeto (PRESSMANN, 2002). Segundo o autor, a Análise Orientada a Objetos (AOO) parte do princípio de que o mundo é formado por objetos e que desenvolver um sistema nada mais é do que criar uma simulação (um modelo) dos objetos e de seus comportamentos, tornando mais próximo o mundo computacional do mundo real.

Diferente da Análise Estruturada Tradicional (AET), a qual aborda os problemas através de processos ou dados, sem conseguir conciliar ambos, a AOO engloba naturalmente os dois enfoques e empacota em uma mesma classe de objetos seus dados e seu comportamento (MEDEIROS, 2004). Segundo o autor, há tendências de que a AET seja substituída de vez pela AOO. Isso deverá ocorrer devido às linguagens e aos gerenciadores de banco de dados orientados a objetos atenderem a grandes aplicações com eficiência. Somado a isto, está a grande capacidade que a orientação a objetos tem de atender perfeitamente às diretrizes de reutilização, recomendadas pela reengenharia de sistemas, aspecto vital para o aumento da produtividade no desenvolvimento de software.

Para a elaboração de um software de qualidade, a modelagem desse sistema é a parte central de todas as atividades, pois a construção de modelos permite-nos visualizar e controlar a arquitetura do sistema, gerenciar os riscos e compreender melhor o software a ser construído, muitas vezes resultando em oportunidades de simplificação e reaproveitamento (BOOCH, 2000).

Para facilitar a representação da AOO, surgiu em 1994 uma notação diagramática padrão chamada Linguagem de Modelagem Unificada (UML). A UML não é AOO, mas apenas uma notação da análise. É uma linguagem para a análise e elaboração de 'plantas do software'. É utilizada tanto como uma ferramenta de raciocínio, como uma forma de comunicação. Ela especifica, visualiza, constrói, documenta os artefatos de software tendo como objetivo descrever qualquer tipo de sistema, na forma de diagramas. Entender UML não significa apenas aprender a ler uma simbologia, mas aprender a modelar de acordo com o paradigma orientado a objetos (PETERS & PEDRYCZ, 2001).

Para auxiliar os profissionais de informática a criarem modelos e especificações orientadas a objeto, surgiram as ferramentas Case, que tornam o desenvolvimento dos sistemas de informação mais rápido, barato e com qualidade superior. Essas ferramentas ajudam na construção de protótipos, são importantes e permitem que os desenvolvedores construam esses protótipos de forma acelerada, bem como a visualização da aceitação dos usuários finais (ODELL, 1995).

As ferramentas Case facilitam o desenvolvimento de uma variedade de tarefas, entre elas a geração de documentação, elaboração de testes, utilização de Engenharia Reversa e até mesmo a geração de códigos e relatórios. Conhecidas como 'Ferramentas de Produtividade', um dos componentes indispensáveis de uma ferramenta Case é a

modelagem visual, pois há a possibilidade de representar, através de modelos gráficos, o que está sendo definido (GUEDES, 2004).

As linguagens de programação e estruturas de bancos de dados estão mais robustas a cada dia. Enquanto o desenvolvimento de software para área agrícola é viabilizado devido ao grande número de ferramentas e funções relacionadas a cada linguagem de programação. Desta forma, é fundamental a realização de estudos na área para que se consiga ampliar a utilização da agricultura de precisão e otimizar processos relacionados a esta tecnologia, de maneira eficiente e confiável, em resposta aos anseios de empresários e produtores agrícolas que buscam agilidade e rapidez na tomada de decisão. Para Canillas & Salokhe (2002), a aplicação da tecnologia da informação no apoio ao processo de decisão já apresenta benefícios econômicos. Produtores querem ampliar essa tecnologia no suporte operacional da propriedade, principalmente por meio de aplicações que auxiliem na tomada de decisões em tempo real.

Desenvolvida para trabalhar em multiplataforma, a linguagem Java, diferente das demais, não trabalha com código nativo, pois são gerados códigos interpretados pela máquina virtual Java (*bytecodes*). Desta forma, em qualquer sistema operacional, pode-se instalar a máquina virtual e compilar programas gerados por essa linguagem, logo, o usuário não fica preso a sistemas operacionais proprietários (DEITEL, 2003). Devido a isto, a plataforma Java teve aceitação rápida e é referência no mercado de desenvolvimento de software. Java tornou-se popular pelo seu uso na Internet e hoje possui seu ambiente de execução presente em web browsers, mainframes, SO's, celulares, palmtops, sistemas integrados, cartões inteligentes, dentre outros. A linguagem Java e seu ambiente foram projetados para resolver um amplo número de problemas que ocorrem durante o desenvolvimento de sistemas. Para isso, contemplam importantes características, que em conjunto, fazem seu diferencial frente a outras linguagens, tais como a Plataforma Net da Microsoft e Delphi da Borland (DEITEL, 2005).

A tecnologia Java é de uso gratuito e de código aberto, além de contar com uma gama de editores e ambientes de desenvolvimento também gratuitos (NetBeans, Eclipse, JCreator), e servidores de aplicações (Tom Cat, Jetty e Jboss). Sua linguagem segue o paradigma orientado a objetos, o que a torna uma linguagem extremamente poderosa (BAUER, 2005).

Finalizado o processo de desenvolvimento, o teste de software corresponde a um processo de execução de maneira controlada, com o objetivo de avaliar se o mesmo se comporta conforme o especificado. O objetivo desta etapa, não somente se restringe à identificação de erros. Para Craig (2002), uma premissa desta etapa do desenvolvimento de software corresponde à prevenção de problemas. As tarefas devem ocorrer simultaneamente com a implementação (codificação) do software, para não estender os problemas ao longo do desenvolvimento.

## **4 MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1 O SOFTWARE SDUM - SOFTWARE PARA DEFINIÇÃO DE UNIDADES DE MANEJO**

O software SDUM foi desenvolvido com ferramentas livres e o objetivo principal de sua construção foi obter uma ferramenta computacional que permita realizar todos os procedimentos para definição e avaliação de unidades de manejo de forma facilitada. Esta motivação se deu devido à necessidade atual de utilização de diversos softwares para a determinação de unidades de manejo, o que dificulta o processo.

#### **4.1.1 TECNOLOGIAS UTILIZADAS**

Devido à necessidade de utilização de inúmeras tecnologias para desenvolvimento do software proposto, houve a necessidade de serem selecionadas tecnologias para o desenvolvimento de cada etapa do projeto. Buscou-se utilizar tecnologias livres, a fim de viabilizar uma ferramenta sem a necessidade de custos adicionais relativos a licenças ou suporte.

##### **4.1.1.1 ENGENHARIA DE SOFTWARE**

Para a representação das funcionalidades e geração de documentação, foi utilizada a linguagem de representação UML (*Unified Modeling Language*), a qual facilita o trabalho tanto na fase de análise como na de implementação. Para diagramação, foi utilizada a ferramenta ArgoUML 0.24 (Figura 3), a qual foi desenvolvida na plataforma Java pela Universidade da Califórnia e é distribuída gratuitamente.

Nesta etapa, foram definidos todos os requisitos do software e representados graficamente através de diagramas. Para cada funcionalidade, foi gerado um caso de uso que serviu como documentação do software. Foram gerados o modelo de dados do software e o dicionário de dados, os quais permitirão avaliar a estrutura interna da base de dados de forma gráfica.

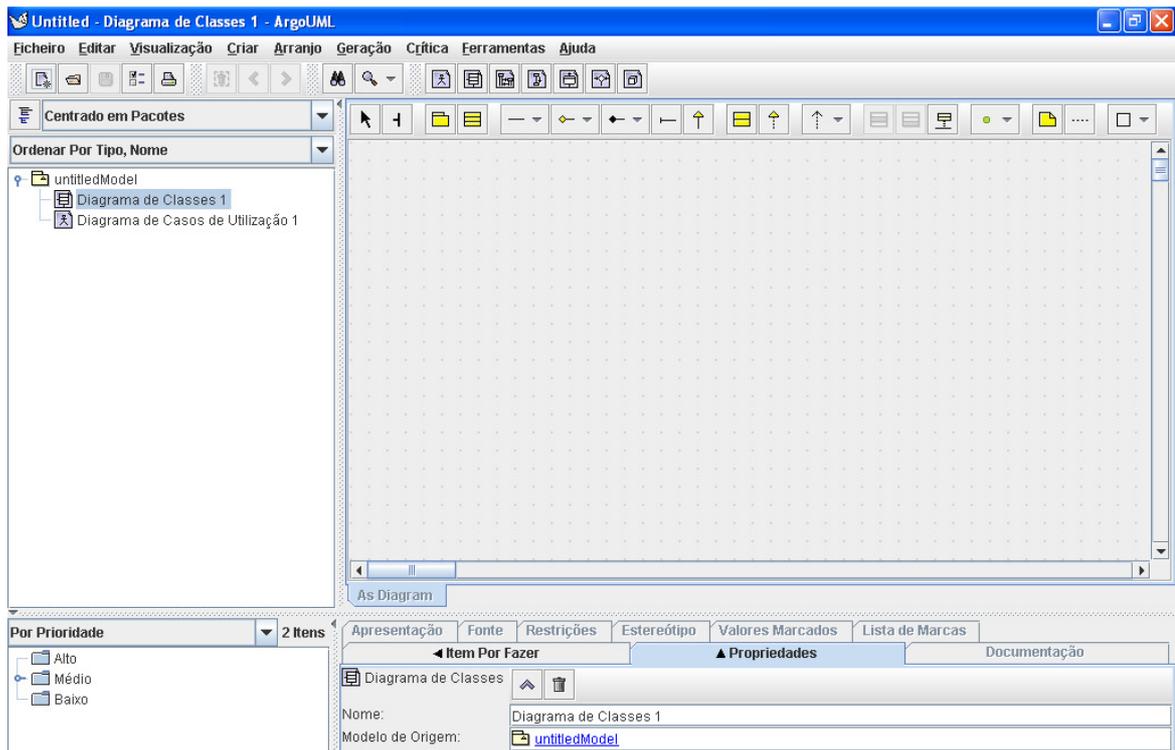


Figura 3 - Ambiente de trabalho do software ArgoUML 0.24.

#### 4.1.1.2 LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO

Haja vista as vantagens de se trabalhar com uma ferramenta multiplataforma, optou-se pela linguagem de programação Java, que é robusta e utiliza a metodologia de orientação a objetos (ARAÚJO, 2008; BARKER, 2005). Foi utilizada a versão 1.6.0\_13 da Java, trabalhando como IDE (*Integrated Development Environment*), o Eclipse Galileo versão 3.4.0 (Figura 4).

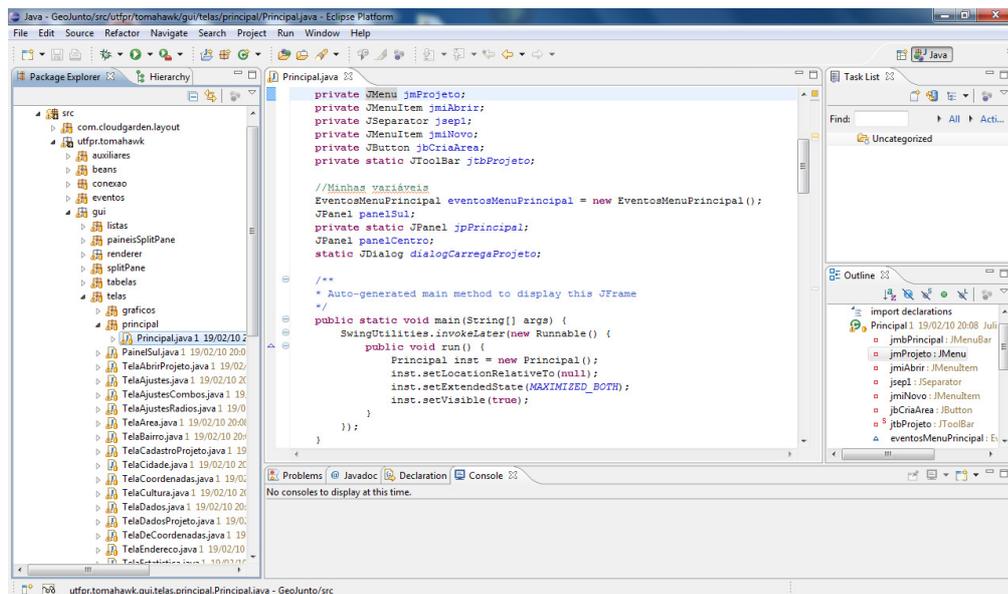


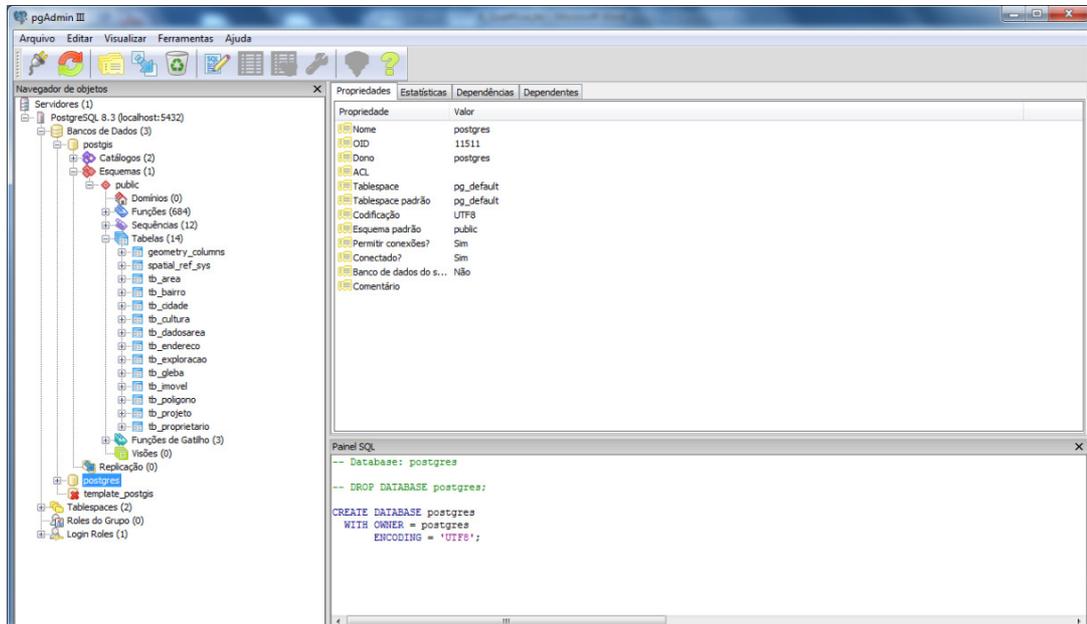
Figura 4 - Ambiente de desenvolvimento do IDE Eclipse.

Esta linguagem possui inúmeras bibliotecas que viabilizam e agilizam o processo de desenvolvimento de software, como a *JFreeChart*, utilizada para geração de gráficos. E para conexão da linguagem Java com o banco de dados, foi utilizada a biblioteca *Hibernate*, a qual fornece ferramentas para o mapeamento relacional de objetos que transformam dados tabulares em um grafo de objetos definidos pelo desenvolvedor. O objetivo principal corresponde facilitar e diminuir a codificação SQL na aplicação (BAUER, 2007).

#### 4.1.1.3 SISTEMA GERENCIADOR DE BANCO DE DADOS

Foi utilizado o Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGDB) PostgreSQL, por sua extensão para dados georreferenciados PostGis, com o ambiente de gerenciamento PgAdmin III (Figura 5). O SGDB permite que sejam criadas funções (*Store Procedures*), utilizando linguagem procedural, sendo este um ponto importante para opção de escolha.

Dentre os quesitos, a escolha deste banco de dados se deu pela flexibilidade, suporte, demanda de utilização, gratuidade e características referente ao tamanho ilimitado, possibilidade de criação de tabelas com capacidade de até 32 TB, tuplas (linhas) com capacidade de até 1,6 TB e atributos com limite de 1GB de capacidade de armazenamento (POSTGRESQL, 2010).



**Figura 5** - Ambiente de gerenciamento do banco de dados PostgreSQL (pgAdmin III).

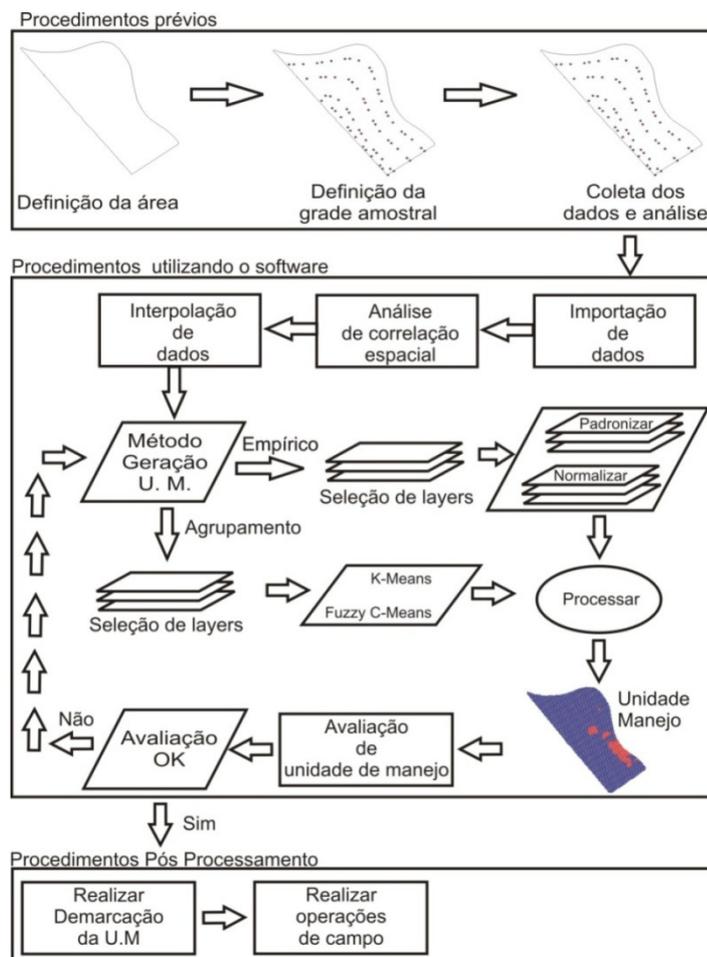
De acordo com a estrutura da aplicação proposta, utilizou-se a ferramenta de modelagem DBDesigner, no qual foi elaborado o Modelo Entidade Relacionamento (MER) que corresponde à estrutura do banco de dados, utilizado no software.

Todas as funções de manipulação de dados georreferenciados foram realizadas no próprio banco de dados, sendo utilizada para tal a linguagem P/pgsql, a qual permite

construir e armazenar, na base de dados, funções definidas na fase de análise e que correspondem às principais funcionalidades do software.

#### 4.1.2 DEFINIÇÃO DE UNIDADES DE MANEJO

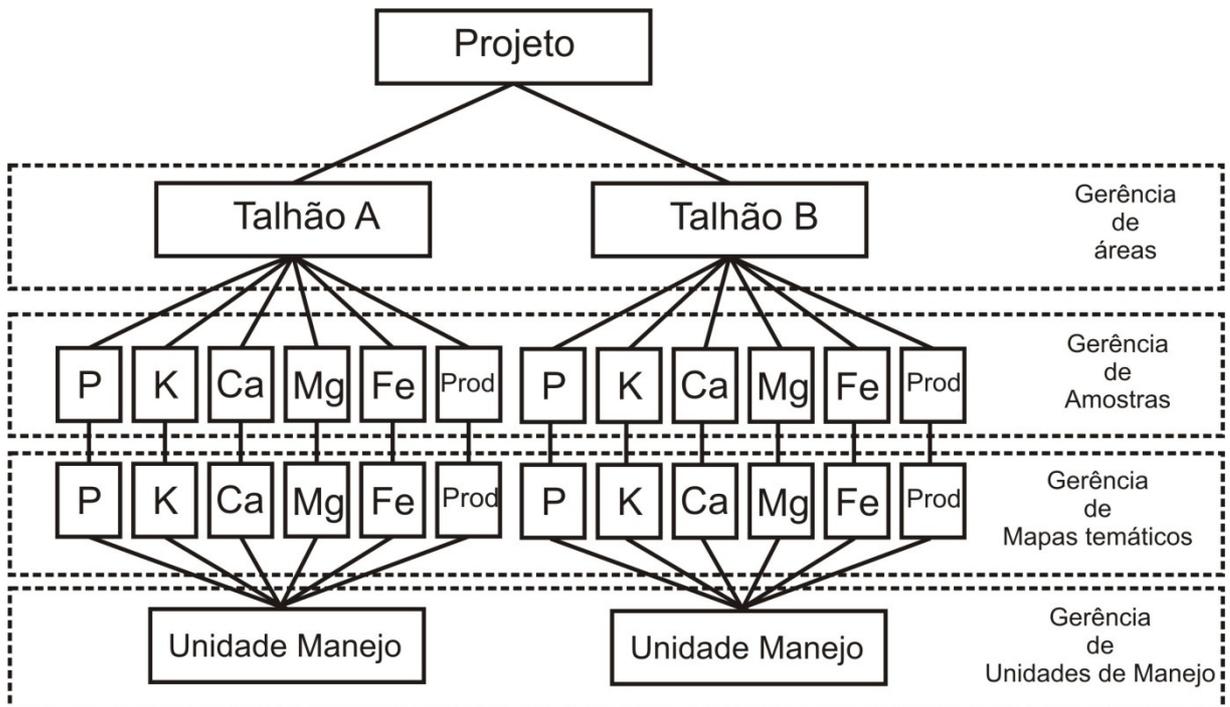
Devido à necessidade de utilização de vários procedimentos para geração e utilização de unidades de manejo (Figura 6), houve a necessidade de implementação de inúmeras funcionalidades, além dos procedimentos matemáticos e estatísticos utilizados para o delineamento.



**Figura 6** - Fluxograma de funcionamento do software SDUM na geração de unidades de manejo.

Devido à necessidade de se trabalhar com uma considerável quantidade de dados, foram implementadas restrições de integridade, visando ao gerenciamento de áreas e projetos (Figura 7). O projeto se caracteriza por uma delimitação de propriedade ou período a que se deseja trabalhar e, após ser criado, podem ser adicionadas áreas, nas quais são incorporados dados amostrais, mapas temáticos e unidades de manejo. Não é permitido o

trabalho simultâneo de dois projetos, mas determinada área ou amostra pode ser adicionada a mais de um projeto.



**Figura 7** - Estrutura de gerenciamento do software.

Os procedimentos de gerenciamento dos projetos podem ser visualizados no Apêndice I – Módulo de gerenciamento de projetos.

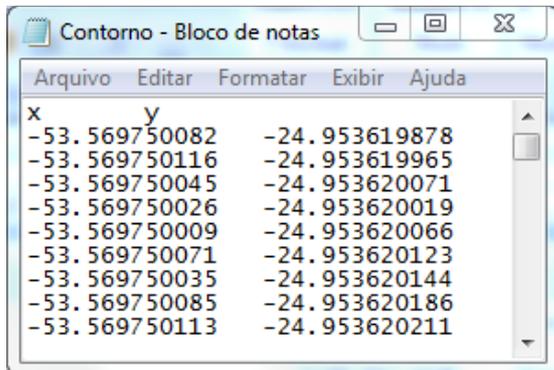
#### 4.1.2.1 IMPORTAÇÃO DE DADOS

A importação de dados deve ser realizada com arquivos no formato texto ('.txt'). Para os dados referentes às coordenadas geográficas, optou-se pelo padrão WGS84, pois podem ser utilizadas coordenadas em qualquer região do globo terrestre, por ser de abrangência global. Caso o usuário possua dados de localização no formato UTM, o mesmo poderá convertê-lo com o software a partir de um módulo próprio desenvolvido para tal.

Na fase de importação de dados, foram definidas duas etapas: a primeira corresponde aos dados referentes ao delineamento da área e a segunda está relacionada à importação de dados amostrais (químicos, físicos, texturais, de produtividade, entre outros). Para importação de dados referentes ao contorno de áreas, os quais podem ser obtidos por meio de um receptor GPS, o arquivo utilizado deverá conter pelo menos duas colunas, representando as coordenadas Longitude e Latitude (Figura 8). As colunas poderão ser

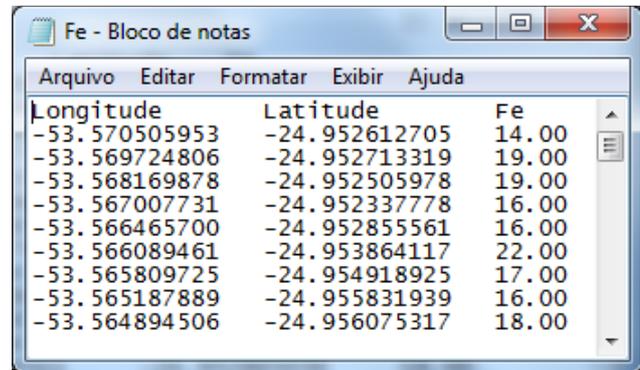
separadas por meio dos caracteres ponto e vírgula (“;”), vírgula (“,”), pipe (“|”) ou por tabulação e as casas decimais devem ser indicadas pelo caractere ponto (“.”).

Para importação de dados referentes aos resultados amostrais de coleta (arquivo com extensão ‘.txt’), o mesmo deverá contemplar, além das coordenadas, os valores referentes ao atributo a ser inserido no software (Figura 9).



x	y
-53.569750082	-24.953619878
-53.569750116	-24.953619965
-53.569750045	-24.953620071
-53.569750026	-24.953620019
-53.569750009	-24.953620066
-53.569750071	-24.953620123
-53.569750035	-24.953620144
-53.569750085	-24.953620186
-53.569750113	-24.953620211

**Figura 8** - Modelo de arquivo de importação para o cadastro de áreas.



Longitude	Latitude	Fe
-53.570505953	-24.952612705	14.00
-53.569724806	-24.952713319	19.00
-53.568169878	-24.952505978	19.00
-53.567007731	-24.952337778	16.00
-53.566465700	-24.952855561	16.00
-53.566089461	-24.953864117	22.00
-53.565809725	-24.954918925	17.00
-53.565187889	-24.955831939	16.00
-53.564894506	-24.956075317	18.00

**Figura 9** - Modelo de arquivo de importação para o cadastro de amostras.

Os procedimentos para entrada de dados espaciais no software podem ser obtidos no Apêndice II – Módulo de manipulação de dados espaciais.

#### 4.1.2.2 CORRELAÇÃO ESPACIAL

O índice de correlação espacial cruzada (Equação 7) foi incorporado ao software com o objetivo de avaliar a influência entre os atributos químicos, físicos, texturais e de produtividade. Além de se apresentar de forma quantitativa, o grau de associação entre os atributos (por meio da matriz de correlação espacial), buscou-se implementar o teste recomendado por Assunção (2003), referente à permutação de dados, para que possa ser observada a significância estatística. O nível de significância (padrão 0,05) e o número de iterações (quanto maior mais confiável) devem ser indicados pelo usuário.

Como a correlação espacial pode ser utilizada ao se comparar uma amostra com ela mesma (autocorrelação), pode-se avaliar se as amostras estão correlacionadas entre si, indicando se há dependência espacial. Como há exigência que tanto a localização, quanto a quantidade de pontos amostrais a serem utilizados para avaliar a correlação necessitam serem as mesmas, é utilizado como padrão o conjunto de dados selecionado pelo usuário para que a partir desse sejam geradas as demais amostras caso não haja coincidência da grade amostral (para quantidade de pontos amostrais e localização geográfica).

No caso de não coincidência da grade amostral, são gerados pontos amostrais ao se considerarem o conjunto padrão e interpolados pelo método de interpolação inverso da distância e dez elementos vizinhos mais próximos. Após a análise de correlação, as amostras geradas são automaticamente eliminadas.

Os procedimentos para geração da matriz de correlação espacial podem ser obtidos no Apêndice VI – Módulo de correlação espacial.

#### 4.1.2.3 INTERPOLAÇÃO DE DADOS

Devido à necessidade de interpolação de dados, na geração de mapas temáticos, foram implementados os métodos de interpolação referentes ao inverso da distância elevado a uma potência (IDP) (Equação 11), média móvel (MM) (Equação 12) e o vizinho mais próximo (VMP).

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n \left( \frac{Z_i}{D_i^p} \right)}{\sum_{i=1}^n \left( \frac{1}{D_i^p} \right)} \quad (11)$$

em que,  $Z$  corresponde ao valor do atributo  $Z$  para o ponto a ser interpolado;  $Z_i$  é o valor de  $Z$  referente ao vizinho  $i$ ;  $D_i$  é a distância entre o ponto a ser interpolado ( $Z$ ) e o dado amostrado; e  $p$  corresponde à potência que se deseja utilizar.

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n (Z_i)}{n} \quad (12)$$

em que,  $Z$  corresponde ao valor do atributo  $Z$  para o ponto a ser interpolado;  $Z_i$  é o valor de  $Z$  referente ao vizinho  $i$ ; e  $n$  é o número de elementos amostrais utilizados para interpolação.

A interpolação IDP é baseada no pressuposto de existência de correlação espacial positiva e a potência é utilizada para atenuar a influência dos pontos distantes. Para Kekler (1994), este interpolador possui um processo computacional rápido e gera bons resultados. Para realizar a interpolação pelo método VMP, pode-se utilizar o interpolador IDP, com parâmetros de distância não configurados (raio = 0), assim como potência  $P = 1$  e número de elementos  $n = 1$ . Para Franke (1982), o algoritmo de interpolação chamado vizinho mais próximo (VMP) corresponde ao método mais simples de interpolação e tem como principal característica assegurar que o valor interpolado seja um dos valores originais. Como se

pode perceber, este interpolador não gera novos valores para a variável Z, portanto, é indicado para se trabalhar com dados qualitativos.

Como os interpoladores IDP e MM devem ser ajustados conforme a necessidade do usuário, o software permite a configuração dos parâmetros referentes à potência (P) (somente para o IDP), distância máxima (raio) e/ou número de elementos amostrais utilizados na interpolação. Além disso, será permitido ao usuário configurar o tamanho de pixel a ser utilizado para geração do mapa temático.

Os procedimentos para geração de mapas temáticos podem ser visualizados no Apêndice IV – Módulo de interpolação de Dados.

#### **4.1.2.4 GERAÇÃO DE UNIDADES DE MANEJO**

Após realizar a interpolação dos dados amostrais na geração dos mapas temáticos, o software permite que esses sejam utilizados para geração de unidades de manejo. Independente do método utilizado, devem ser selecionadas as *layers* de forma manual, para indicar o número de classes e a metodologia a ser utilizada (Produtividade Normalizada, Produtividade Padronizada, K-Means e Fuzzy C-Means). Outros parâmetros particulares de cada método de geração de unidades de manejo também devem ser indicados pelo usuário.

Para a geração de unidades de manejo utilizando métodos empíricos referentes às metodologias de Produtividade Normalizada (Equações 1 e 2 e Tabelas 2 e 3) e Produtividade Padronizada (Equações 3 e 4 e Tabela 4), deverão ser selecionadas *layers* de pelo menos duas safras de acordo com a metodologia proposta por esses métodos. Na utilização de métodos de agrupamento (K-Means e Fuzzy C-Means) há necessidade mínima de somente uma *layer* para que o algoritmo execute.

Quando é gerada uma unidade de manejo, a mesma é apresentada em forma de mapa temático e as classes serão correspondentes ao número de divisões que a mesma foi gerada (2,..., n).

Os procedimentos para geração de unidades de manejo pelo software SDUM podem ser visualizados no Apêndice V – Módulo de Definição de Unidades de Manejo.

#### **4.1.2.5 AVALIAÇÃO DE UNIDADES DE MANEJO**

A etapa de avaliação de unidades de manejo pode ser realizada por meio da análise de eficiência relativa (ER, Equação 10) e pelo teste de comparação de médias (ANOVA). Para facilitar a interpretação dos resultados, o software permite a geração de gráficos de Box-Plot. Qualquer atributo amostral pode ser utilizado para avaliação das unidades de

manejo, apesar de que a produtividade é recomendada, considerando ser a resposta da cultura em função de todos os demais atributos.

Os procedimentos para avaliação das unidades de manejo geradas podem ser visualizados no Apêndice VII – Módulo de Avaliação de Unidades de Manejo.

## 4.2 AVALIAÇÃO DO SOFTWARE SDUM

### 4.2.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA E DA COLETA DE DADOS

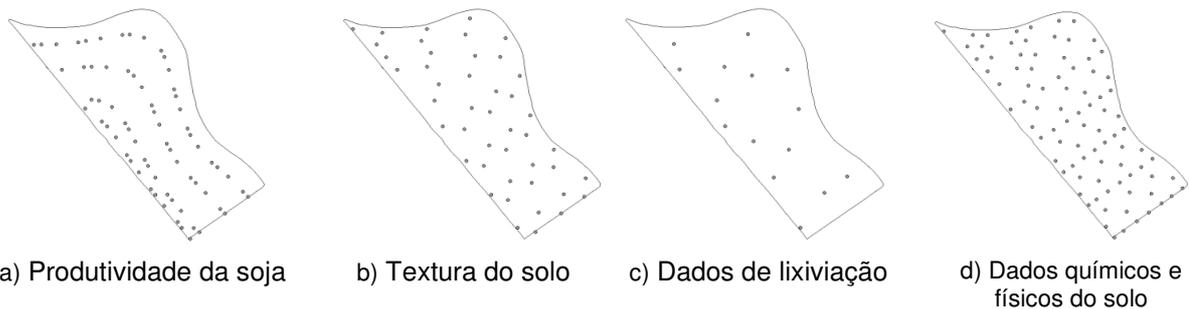
Os dados para realização de testes e avaliação do desempenho das funcionalidades do software foram coletados nos anos de 2009 (dados químicos e físicos do solo) e 2010 (dados de produtividade e lixiviação), em uma área de aproximadamente 19,8 ha, localizada no município de Cascavel/PR (Figura 10), com coordenadas geográficas 24° 57' 08" S; 53° 33' 59" O e altitude média de 650 m. A delimitação das áreas foi realizada com o aparelho GPS Trimble Geo Explorer XT 2005 utilizando o software PathFinder.



**Figura 10** - Delimitação da área experimental obtida por meio do software Google Earth. O polígono que representa a área foi gerado pelo software SDUM.

Foram coletados dados de altitude, textura (argila, silte e areia), densidade do solo, resistência do solo à penetração (RSP) e dados relacionados às características químicas do solo (C, pH, H+Al, Ca, Mg, K, Cu, Zn, Fe, Mn) e da água percolada, a partir de ensaios de lixiviação (Ca, K, Mg, COT – Carbono Orgânico Total, CT – Carbono Total, CI – Carbono Inorgânico e N - Nitrogênio). Utilizaram-se grades amostrais distintas para coleta (Figura 11), e para os dados de produtividade, utilizou-se uma densidade amostral de 3,43 pontos ha<sup>-1</sup> (68 amostras); para os texturais, foram utilizados 2,27 pontos ha<sup>-1</sup> (45 amostras), para os ensaios de lixiviação, 0,76 pontos ha<sup>-1</sup> (15 amostras) e para os demais atributos, foram utilizadas 87 amostras (4,38 pontos ha<sup>-1</sup>) e geradas grades não regulares, mas com alguns pontos coincidentes.

As grades amostrais foram mais densas para a produtividade da soja e para os atributos químicos do solo, pois além da facilidade da coleta, os custos das análises são inferiores. Para os dados texturais, apesar da facilidade da coleta, optou-se por uma redução da quantidade de amostras devido ao custo elevado para as análises, além de as mesmas, em geral, não terem elevada dependência espacial. Para os ensaios de lixiviação, a redução ocorreu devido à dificuldade de se trabalhar com esse tipo de análise pelo tempo de saturação (4 horas), percolação (8 horas) e análise laboratorial. A redução da grade amostral dos dados de lixiviação também ocorreu devido ao objetivo restrito quanto à avaliação das unidades de manejo geradas.



**Figura 11** - Grades amostrais de coleta dos atributos avaliados na área experimental.

Para realizar a localização dos pontos amostrais, foi utilizado o receptor GPS com os pontos previamente georeferenciados. Em cada ponto, com auxílio de um trado elétrico, foram coletadas oito amostras na profundidade de 0-0,20 m em um raio de 3 m do ponto determinado pela grade e calculada a média para representar cada ponto amostral (adaptado de WOLLENHAUPT et al., 1994). Foram feitas quatro medições da resistência do solo à penetração, na profundidade de 0-0,20 m, em cada ponto amostral, utilizando-se um medidor eletrônico de compactação do solo Falker PGL 1020.

Foram determinadas porosidade total, macroporosidade e microporosidade do solo pelo método do anel volumétrico, em que as amostras de solo foram saturadas por 24 h em bandeja com água até dois terços da altura do anel. Após o período de saturação, as amostras foram drenadas no potencial equivalente a 0,006 MPa, utilizando-se uma mesa de tensão. Por meio do método do volume conhecido e do teor de água do solo, obtido com a mesa de tensão, determinou-se a densidade do solo (EMBRAPA, 1997).

#### 4.2.1.1 ENSAIO DE LIXIVIAÇÃO

O solo para a realização do ensaio de lixiviação foi coletado com o auxílio de enxada e pá na profundidade de 0,30 m. Esta profundidade foi utilizada tendo em vista que corresponde a profundidade efetiva da cultura de soja, onde se concentram pelo menos

80% das raízes. Em laboratório, removeram-se manualmente as raízes e o solo foi seco ao ar, destorroado e peneirado em malha de 2 mm de abertura (Figura 12).



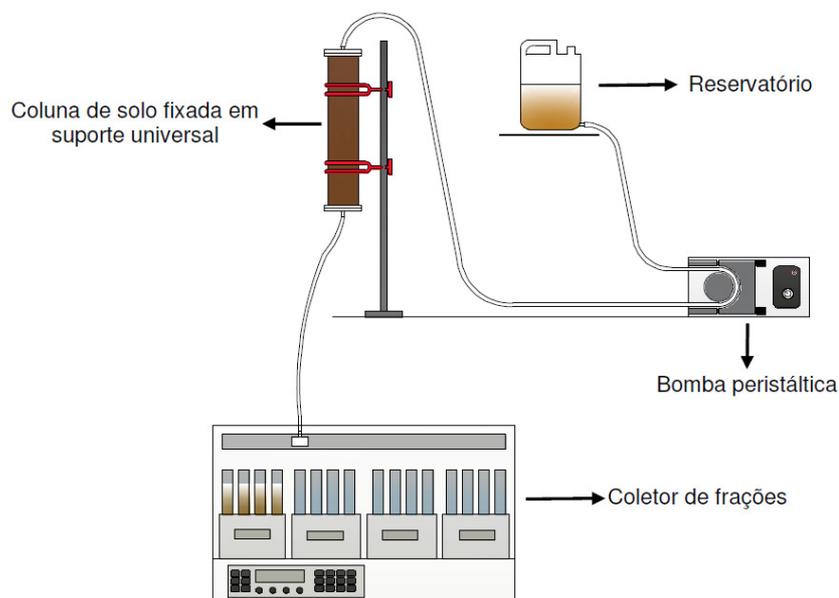
**Figura 12A** - Solo coletado em campo.



**Figura 12B** - Solo destorroado e peneirado.

Utilizaram-se colunas de acrílico de 5,5 cm de diâmetro, 30 cm de comprimento e volume de  $712\text{cm}^3$ . O empacotamento do solo na coluna foi feito a partir da adição de porções de aproximadamente 50 g, compactadas com igual força para obtenção de colunas uniformes, com um mínimo de ar, para dificultar a formação de caminhos preferenciais. As colunas foram fixadas na vertical, em suporte universal com braçadeiras metálicas e foram interligadas com mangueiras a uma bomba peristáltica, ligada a um reservatório (Figura 13).

Após a montagem das colunas, procedeu-se a saturação, em fluxo ascendente, com solução 0,01 M de  $\text{CaCl}_2$  visando à eliminação de caminhos que poderiam facilitar a passagem da água pelo solo (CORRÊA et al., 1999). A saturação foi realizada com vazão de 3,5 ml s, com duração de aproximadamente quatro horas.



**Figura 13** - Coluna de solo e bomba peristáltica durante o procedimento de saturação do solo com solução 0,01 M de  $\text{CaCl}_2$ .

Após a saturação, iniciou-se a passagem de água em fluxo descendente. Para a coleta do material percolado, utilizou-se um coletor de frações (marca Gilson<sup>®</sup>, modelo

FC204) e 96 tubos de ensaio com capacidade máxima de 25 mL e o equipamento foi configurado para coletar 21 mL por tubo. Para cada amostra de solo foram armazenadas 48 sub-amostras de água lixiviada (cada amostra composta pelo volume de dois tubos de ensaio – aproximadamente 42 mL), correspondendo ao total de 2,02 litros (aproximadamente 4 volumes de poros existentes na coluna). Após a coleta, as amostras foram posteriormente encaminhadas ao laboratório para determinação das concentrações de Ca, K, Mg, carbono orgânico total (COT), carbono total (CT), carbono inorgânico (CI), nitrogênio (N), pH e condutividade elétrica.

Visando à diminuição de custos de análise, foram eliminadas 50% das amostras, as quais foram selecionadas de forma sistemática sequencial, em que a cada duas amostras, uma foi eliminada, restando para cada ponto amostral 24 sub-amostras. Dessas, foram selecionadas 12 para determinação dos metais Ca, K, Mg, do pH e condutividade elétrica e as demais, utilizadas para determinação dos níveis de COT, CT, CI, e N.

#### 4.2.2 ANÁLISE DESCRITIVA E EXPLORATÓRIA DOS DADOS

Os dados foram determinados por análise exploratória e foram calculadas as medidas de posição (média, mediana), de dispersão (desvio-padrão, coeficiente de variação) e de forma da distribuição (coeficiente de assimetria e coeficiente de curtose). A hipótese de normalidade dos dados foi testada pelos testes de Anderson-Darling e Kolmogorov-Smirnov, ao nível de 5% de significância, com o *software* Minitab 14. O coeficiente de variação (CV) foi considerado baixo, quando  $CV \leq 10\%$  (homocedasticidade); médio, quando  $10\% < CV \leq 20\%$ ; alto, quando  $20\% < CV \leq 30\%$ ; e muito alto, quando  $CV > 30\%$  (heterocedasticidade) (PIMENTEL-GOMES e GARCIA, 2002).

Após a importação dados para o software desenvolvido, realizou-se a análise de correlação espacial, bem como elaborou a matriz de correlação espacial para avaliar a correlação entre os atributos estudados.

A seleção de *layers* para geração das unidades de manejo foi realizada, considerando a matriz de correlação espacial gerada pelo software, ao se avaliada a correlação dos atributos com a produtividade e os demais atributos. O procedimento adotado para seleção corresponde a:

- Eliminaram-se todas as *layers* que não apresentaram autocorrelação espacial, com exceção da produtividade;
- Eliminaram-se todas as *layers* que não se apresentaram correlacionadas espacialmente com a produtividade;
- Realizou-se a ordenação do nível de correlação apresentada com a produtividade para as variáveis correlacionadas;

- No caso de dois atributos serem redundantes (apresentarem correlação espacial), foi eliminado aquele que possuía menor correlação espacial com a produtividade.

#### 4.2.3 INTERPOLAÇÃO DE DADOS

Após selecionadas as *layers*, por meio da matriz de correlação espacial, foram gerados mapas temáticos para cada *layer* pelo método do inverso da distância, com número de elementos igual a dez e pixel de tamanho de 5m x 5m.

#### 4.2.4 GERAÇÃO DE UNIDADES DE MANEJO

Devido aos dados serem referentes à etapa única de coleta (Dados físicos e químicos do solo – 2009; Produtividade – safra 2009/2010), utilizaram-se os métodos de definição de unidades de manejo K-means e Fuzzy C-Means (FRAISSE et al., 2001; STAFFORD et al., 1998; BOYDELL & MCBRATNEY, 1999; JAYNES et al., 2003; PING & DOBERMANN, 2003; YANG et al., 2007, RODRIGUES JUNIOR et al., 2011).

Para o método K-means, foram realizadas dez iterações no algoritmo e para o método Fuzzy C-Means, foram utilizados os parâmetros  $n$  igual a 1,3 e erro igual a 0,0001. Em ambos os métodos, os dados foram normalizados (Equação 13) (MIELKE & BERRY, 2007), já que existem atributos com unidades de medida distintas que podem influenciar no processo de agrupamento.

$$P_i = \frac{P_i - \text{Mediana}}{\text{Amplitude}} \quad (13)$$

em que,  $P_i$  é o pixel  $i$  a ser normalizado.

Foram gerados quatro mapas temáticos para cada método (K-Means e Fuzzy C-Means), classificados conforme a divisão em unidades de manejo, considerando respectivamente duas, três, quatro e cinco sub-regiões no talhão.

#### 4.2.5 COMPARAÇÃO DE MAPAS TEMÁTICOS

Após gerados os mapas temáticos referentes às definições de unidade de manejo pelos métodos K-Means e Fuzzy C-Means, foram realizadas comparações entre mapas, considerando os de mesmo número de unidades de manejo. Foram utilizados como

métodos de comparação os índices Kappa (Equação 14), Exatidão Global (Equação 15) e TAU (Equação 16).

$$K = \frac{\left\{ n \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} * x_{+i}) \right\}}{\left\{ n^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} * x_{+i}) \right\}} \quad (14)$$

em que,  $r$  - número de linhas em uma tabela de classificação cruzada;  $x_{ii}$  - número de combinações na diagonal;  $x_{i+}$  - total de observações na linha  $i$ ;  $x_{+i}$  - total de observações na coluna  $i$ ;  $n$  - o número total de observações.

$$G = \frac{\sum_{i=1}^c x_{ii}}{n} \quad (15)$$

em que,  $n$  é o número de elementos;  $c$  corresponde ao número de classes;  $x_{ii}$  - diagonal principal da matriz de confusão.

$$T = \frac{P_0 - P_r}{1 - P_r} \quad (16)$$

em que,  $P_r$  corresponde à concordância aleatória;  $P_0$  corresponde à concordância real.

#### 4.2.6 AVALIAÇÃO DAS UNIDADES DE MANEJO

As unidades de manejo foram avaliadas quanto à explicação da variabilidade da produtividade da soja e como fonte de recomendação e análise dos atributos físicos e químicos do solo,

Foram utilizadas as técnicas de eficiência relativa (ER) e análise de comparação de médias (ANOVA) para ambas as avaliações, assim, foram construídos gráficos de Box-Plot para facilitar o entendimento dos resultados obtidos.

Realizou-se a comparação entre métodos de definição de unidades de manejo e avaliaram-se os resultados alcançados pelas abordagens de capacidade produtiva da área, sub-região como fonte de recomendação e análise e potencial de lixiviação a partir das unidades de manejo geradas por cada técnica de agrupamento.

#### **4.2.7 AVALIAÇÃO DAS UNIDADES DE MANEJO POR MEIO DOS DADOS DE LIXIVIAÇÃO**

Para cada unidade de manejo gerada, foram realizados agrupamentos dos dados de lixiviação, conforme localização dos pontos amostrais coletados. Para cada sub-região, foram construídos gráficos de lixiviação média em relação a cada parâmetro físico-químico. A partir dos valores de concentração de cada parâmetro químico determinado nos lixiviados, foram construídas as curvas de eluição em função das unidades de manejo. Os dados foram linearizados ( $\text{Log}(x)$ ) e retas foram ajustadas a cada conjunto de dados visando à determinação numérica da intensidade de lixiviação (coeficiente angular), que indica o potencial de lixiviação e o nível inicial de lixiviação (coeficiente linear) e realizou-se o teste de comparação de retas (Sampaio et al. 2010). Estimou-se ainda, a massa total lixiviada por tratamento a partir da integração da área das curvas de eluição.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 ANÁLISE EXPLORATÓRIA E ESTATÍSTICA DESCRITIVA

Os atributos pH, argila, altitude e densidade foram classificados com CV muito baixo; fósforo, potássio, zinco e areia com CV muito alto e o cobre e a produtividade foram classificados com CV alto. Os demais atributos foram classificados com o CV médio (Tabela 5). Não apresentaram normalidade a 5% de probabilidade os atributos P, K, Zn, argila, areia, resistência à penetração nas camadas de 0-0,10m (RSP\_10\_20) e 0-0,20m (RSP\_0\_20) e a densidade.

Os resultados referentes à textura do solo (areia, argila e silte) são similares aos encontrados por Souza et al. (2004), que obtiveram baixo CV para argila, moderado para silte e alto para areia. A normalidade dos dados de silte e a não-normalidade dos dados de areia correspondem a resultados alcançados por outros autores como Souza et al. (2003).

Os atributos P, K, Zn, Fe, silte, areia, RSP\_10\_20 e RSP\_0\_20 apresentaram-se com assimetria negativa, a argila e a densidade com assimetria positiva e os demais atributos com distribuição simétrica. Apresentaram-se com curtose classificada como platicúrtica os atributos P, K, Zn e densidade, como leptocúrtica os atributos Cu e altitude e os demais com distribuição classificada como mesocúrtica.

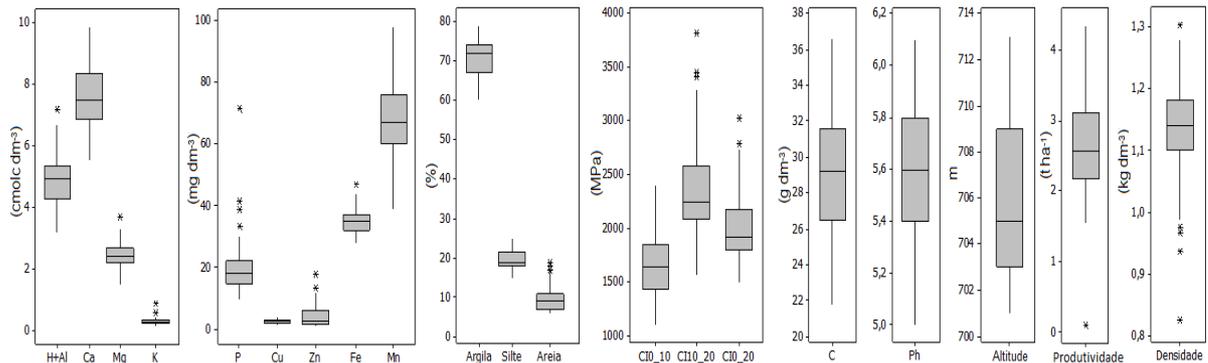
**Tabela 5** - Estatística descritiva dos atributos físicos e químicos do solo

Variável	Mínimo	Média	Mediana	Máximo	Amplitude	D. P.	C. V.	Assimetria	Curtose
P (mg dm <sup>-3</sup> )*	9,6	19,9	18,1	71,6	62,0	8,26	41,6(ma)	3,25(b)	17,45(B)
C (g dm <sup>-3</sup> )	21,8	28,9	29,2	36,62	14,8	3,17	11,0(m)	-0,08(a)	0,50(A)
Acidez (pH)	5,0	5,6	5,6	6,1	1,1	0,26	4,6(b)	0,00(a)	-0,68(A)
H+Al (cmolc dm <sup>-3</sup> )	3,2	4,9	5,0	7,2	4,0	0,93	19,0(m)	0,27(a)	-0,45(A)
Ca (cmolc dm <sup>-3</sup> )	5,5	7,6	7,5	9,86	4,3	0,98	13,0(m)	0,11(a)	-0,49(A)
Mg (cmolc dm <sup>-3</sup> )	1,5	2,5	2,4	3,69	2,2	0,41	16,6(m)	0,34(a)	0,32(A)
K (cmolc dm <sup>-3</sup> )*	0,15	0,31	0,29	0,89	0,74	0,10	33,8(ma)	2,36(b)	11,13(B)
Cu (mg dm <sup>-3</sup> )	1,2	2,6	2,5	4,1	2,9	0,71	27,6(a)	0,18(a)	-0,80(C)
Zn (mg dm <sup>-3</sup> )*	1,0	4,2	2,6	17,9	16,9	3,39	81,7(ma)	1,48(b)	2,31(B)
Fe (mg dm <sup>-3</sup> )	28,0	34,6	35,0	47,0	19,0	3,50	10,1(m)	0,60(b)	1,03(A)
Mn (mg dm <sup>-3</sup> )	39,0	67,1	67,0	98,0	59,0	12,13	18,1(m)	0,03(a)	0,00(A)
Argila (%)*	60,0	70,4	72,0	79,0	19,0	5,02	7,1(b)	-0,74(c)	-0,36(A)
Silte (%)	15,0	19,7	19,0	25,0	10,0	2,24	11,4(m)	0,57(b)	-0,27(A)
Areia (%)*	6,0	9,9	9,0	19,0	13,0	3,82	38,6(ma)	1,26(b)	0,48(A)
RSP_0_10 (MPa)	1100	1644	1634	2380	1281	283	17,3(m)	0,08(a)	-0,39(A)
RSP_10_20 (MPa)*	1551	2347	2221	3769	2219	423	18,0(m)	1,13(b)	0,88(A)
RSP_0_20 (MPa)*	1483	1995	1900	2995	1513	310	15,6(m)	0,91(b)	0,50(A)
Altitude(m)	701,0	706,0	705,0	713,0	12,0	3,42	0,5(b)	0,35(a)	-1,12(C)
Produtividade (t ha <sup>-1</sup> )	0,10	2,60	2,57	4,34	4,24	0,67	25,6(a)	-0,40(a)	2,10(A)
Densidade (kg dm <sup>-3</sup> )*	0,83	1,13	1,14	1,30	0,48	0,08	6,8(b)	-1,00(c)	2,52(B)

D.P. – Desvio Padrão; N – Número de elementos amostrais; Simetria: Simétrica (a); Assimétrica positiva (b); Assimétrica negativa (c); Curtose: Mesocúrtica (A); Platicúrtica (B); Leptocúrtica (C); \* Não Normal a 5% de probabilidade; Coeficiente de Variação (C.V.): baixo (b); médio (m), alto (a), muito alto (ma).

Como possíveis causas do afastamento da normalidade da distribuição de dados, tem-se a existência de assimetria e curtose, considerando que todos os atributos que não apresentaram normalidade dos dados foram classificados com assimetria positiva com

exceção da argila e da densidade que se apresentaram com assimetria negativa. Para os atributos não normais P, K e Zn, a curtose foi classificada como platicúrtica. A curtose para a argila, areia, RSP\_10\_20 e RSP\_0\_20 foi classificada como mesocúrtica e o Zn e a densidade como platicúrtica. Os atributos P, K, Zn, argila, areia, RSP\_10\_20, RSP\_0\_20 e densidade apresentaram-se como não normais e com pontos discrepantes (exceto a argila) (Figura 14). Ademais, H+Al, Mg e a produtividade apresentaram-se com pontos discrepantes.



**Figura 14** - Gráfico de Box-Plot para todos os atributos obtidos na área experimental

Conforme a classificação apresentada por Costa & Oliveira (2001) (Tabela 6), verifica-se que o atributo Zn foi o único que se apresentou com nível classificado como baixo (menor que  $3,0 \text{ mg dm}^{-3}$ ), representado por 55,2% dos pontos amostrais. Este atributo foi classificado com nível médio ( $3,0 - 7,0 \text{ mg dm}^{-3}$ ) em 20,7% das amostras e alto ( $>7,0 \text{ mg dm}^{-3}$ ) em 24,1%. Tal fato pode estar relacionado à acidez do solo (pH – Média de 5,6) que pode ser classificado como ácido ( $<7$ ), conforme Lindsay (1972).

Dentre os atributos que apresentaram nível classificado como médio, estão o K (12,6%), o Cu (13,8%) e o Fe (96,5%). Os atributos P, Ca, Mg, C e Mn apresentaram-se com níveis classificados como alto ou muito alto em toda a área. Como o solo foi classificado como argiloso, pode-se justificar a abundância de Ca e Mg na área experimental. A alta concentração de Mn pode ser explicada pela acidez do solo que para Pavan & Bingham (1981) favorece o acúmulo deste nutriente. O altos níveis de concentração de P podem estar relacionados à matéria orgânica que é visivelmente abundante por se trabalhar por mais de dez anos com sistema plantio direto.

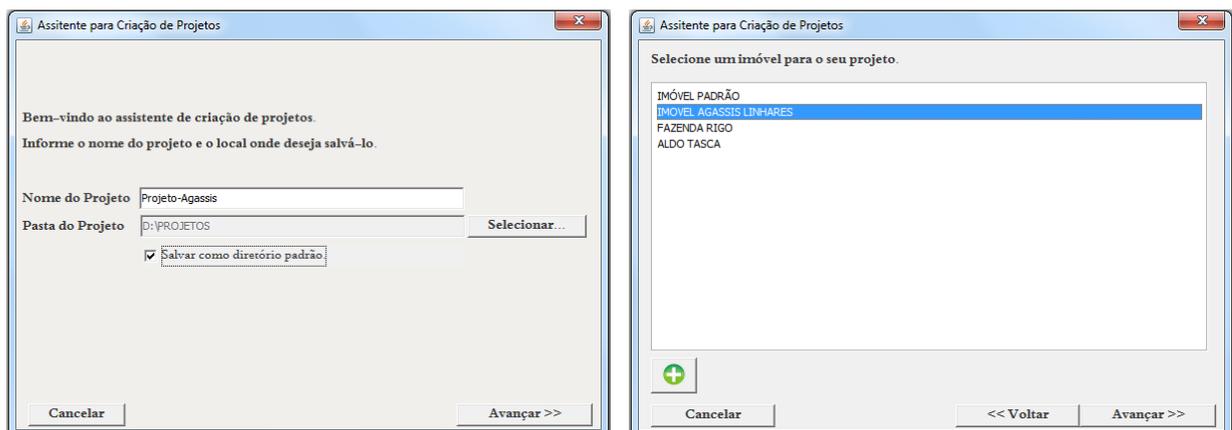
**Tabela 6** - Níveis de interpretação dos atributos químicos do solo com a porcentagem encontrada dos pontos amostrais, na área experimental

Atributos		Níveis				
		Muito baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito alto
P (mg dm <sup>-3</sup> )	Classificação % Encontrado		≤ 3,0	3,1 - 6,0	6,1 - 9,0	>9,0 100%
K (cmolc dm <sup>-3</sup> )	Classificação % Encontrado		≤ 0,10	0,11 - 0,20 12,6%	0,21 - 0,30 46,0%	>0,30 41,4%
Ca (cmolc dm <sup>-3</sup> )	Classificação % Encontrado		≤ 2,0	2,1 - 4,0	>4,0 100%	
Mg (cmolc dm <sup>-3</sup> )	Classificação % Encontrado	<0,40	0,40 - 0,60	0,61 - 0,80	>0,80 100%	
C (g dm <sup>-3</sup> )	Classificação % Encontrado	<9,0	9,0 - 14,0	15,0 - 20,0	21,0-35,0 96,5%	>35,0 3,5%
Cu (mg dm <sup>-3</sup> )	Classificação % Encontrado		< 0,8	0,8 - 1,7 13,8%	> 1,7 86,2%	
Zn (mg dm <sup>-3</sup> )	Classificação % Encontrado		< 3,0 55,2%	3,0 - 7,0 20,7%	>7,0 24,1%	
Fe (mg dm <sup>-3</sup> )	Classificação % Encontrado		< 15,0	15,0 - 40,0 96,5%	> 40 3,5%	
Mn (mg dm <sup>-3</sup> )	Classificação % Encontrado		< 15,0	15,0 - 30,0	>30,0 100%	

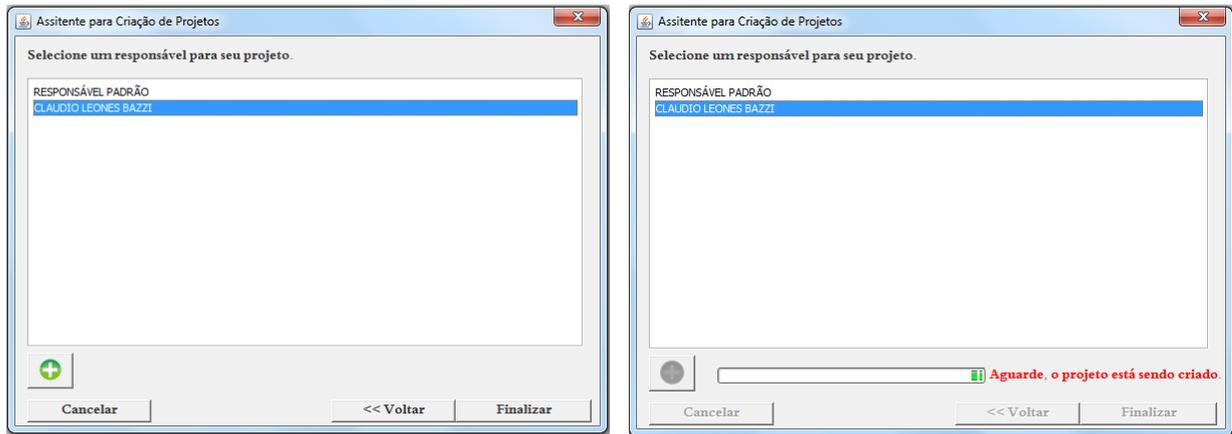
Padrões de referência de Costa & Oliveira (2001).

## 5.2 CRIAÇÃO DE PROJETO E INSERÇÃO DE DADOS NO SOFTWARE SDUM

De acordo com a estrutura organizacional do software, foi criado um novo projeto (chamado Projeto\_Agassis) por meio de interfaces (Figura 15) que abrangem as etapas de identificação do projeto e local de armazenamento de dados (Figura 15 a), etapa de cadastramento e seleção de imóveis (Figura 15 b), etapa de cadastramento e seleção de responsáveis (Figura 15 c).



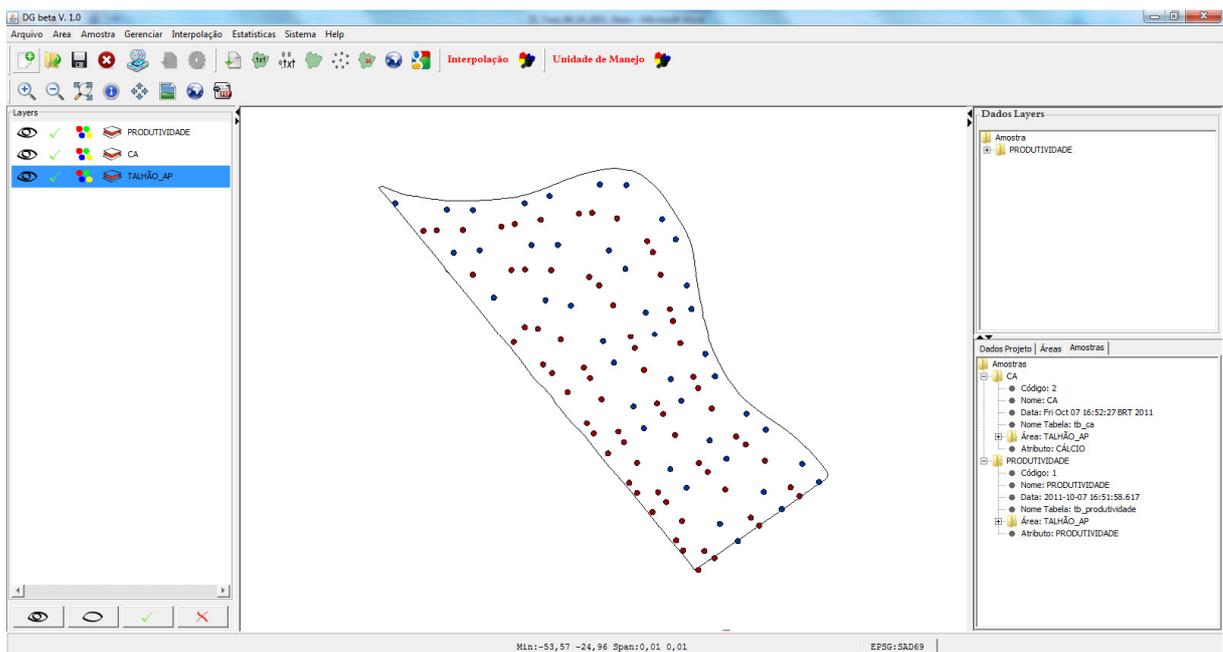
a) Etapa 1: Identificação do projeto e local de armazenamento de dados. b) Etapa 2: Cadastramento e seleção de imóveis.



c) Etapa 3: Cadastramento e seleção de responsáveis  
d) Etapa 4: Processo de criação do projeto

**Figura 15** - Interfaces utilizadas na criação de projetos no software SDUM.

Concluída a criação, o projeto foi carregado para o software e foram iniciados os procedimentos de inserção da área em estudo e importação dos dados amostrais referentes aos atributos químicos e físicos do solo (Figura 16).



**Figura 16** - Ambiente de trabalho do software SDUM com o projeto sendo manipulado.

O software permite, além da visualização dos dados espaciais (Figura 16) referentes à área em estudo e seus atributos, a manipulação de *layers* e a visualização de metadados (dados sobre as *layers*) (na região inferior direita da tela). Na parte superior, está disponibilizado o acesso a todas as funcionalidades, tais como: inserção de áreas e atributos, interpolação de dados, avaliação da correlação espacial de dados, definição e visualização de unidades de manejo e análise de unidades de manejo.

### 5.3 ANÁLISE DE CORRELAÇÃO ESPACIAL DOS DADOS

Após a inserção dos dados amostrais, foi possível executar o procedimento de análise de correlação espacial entre as amostras. Foram selecionados todos os atributos (produtividade, P, Ca, C, Cu, Fe, H+Al, K, Mg, Mn, pH, Zn, argila, areia, silte, resistência mecânica a penetração, densidade, altitude e declividade), sendo definida como *layer* principal (utilizada para geração da grade de correlação) o atributo produtividade, devido a necessidade de se ter a mesma grade amostral. Os pontos amostrais faltantes (não coincidentes) com os da amostragem principal foram gerados automaticamente pelo software, sendo determinados os valores por meio da interpolação pelo inverso da distância, utilizando-se os 10 vizinhos mais próximos de cada ponto a ser interpolado. Foi então gerada a matriz de correlação cruzada (Figura 17), utilizando-se 999 iterações e um nível de 95%, para avaliar a significância de cada coeficiente calculado.

Gerada pelo software, a matriz de correlação espacial (Figura 17), pode-se observar que dos atributos físicos do solo, apenas o RSP\_0\_10 apresentou-se com resultado não significativo na correlação com a produtividade. Este resultado também foi obtido por Rosa Filho et al. (2009), quando a produtividade da soja foi correlacionada linearmente com dados de resistência mecânica à penetração.

Verificou-se que os atributos P, C, Cu, K e Mn também não se apresentaram correlacionados com a produtividade da soja. Resultados semelhantes foram encontrados por Rachid Junior et al. (2006) para os atributos P e K, quando correlacionados linearmente com a produtividade. Isso indica que tais atributos não influenciaram de forma significativa e direta a produtividade da soja, podendo, porém, ter influenciado de forma indireta devido à inter-relação entre os atributos.

Apesar dos resultados encontrados para a correlação entre o P e a produtividade da soja, para Novais & Smith (1999), este atributo corresponde ao nutriente mais limitante da produtividade de biomassa. O fato de que o fósforo apresentou nível considerado muito alto em toda a área (conforme classificação de Costa & Oliveira (2001)), pode ter influenciado a correlação. E a produtividade pode ter sido estabilizada quando o nível desse nutriente atingiu os patamares exigidos pela planta. Este fato também pode ter ocorrido para manganês.

Concordando parcialmente com os resultados alcançados por Reichert et al., (2008), que correlacionaram linearmente o pH com os atributos químicos do solo e obtiveram correlação na maioria dos atributos, incluindo K e Mg, o pH não se apresenta correlacionado de forma significativa com Fe, K, Mg, RSP\_0\_10 e declividade. Para os atributos P, H+Al,

Zn, argila e densidade, a correlação se apresentou de forma negativa; logo, quanto mais ácido o solo, menores foram os níveis desses atributos.

A *layer* altitude, segundo a matriz de correlação espacial, apresentou-se correlacionada com todas as demais, com exceção do K e Mn. Ademais, as maiores concentrações de P, C, H+Al, Mg, Zn, argila e maior densidade foram encontradas na região com menor altitude. É importante notar que esses atributos se correlacionaram de forma negativa com a produtividade, e a produtividade de forma positiva com a *layer* altitude.

Visando à seleção de *layers* para a geração de unidades de manejo, seguiu-se inicialmente a eliminação das *layers* que não apresentaram autocorrelação espacial, compreendendo os atributos Fe e K. Quanto às demais *layers*, foram também eliminadas as que não apresentaram correlação espacial com a produtividade (P, C, Cu, Mn e RSP\_0\_10).

Realizou-se a ordenação com as demais *layers* (Ca, Mg, pH, Zn, silte, densidade, RSP\_0\_20, RSP\_0\_10, argila, areia, silte e altitude) de acordo com o nível de correlação entre cada atributo e produtividade (Tabela 7). Como houve correlações negativas (argila, densidade, Zn, H+Al e Mg), foram utilizados os valores absolutos referentes aos níveis de correlação.

**Tabela 7** - Ordem de classificação de *layers* candidatas à geração de unidades de manejo

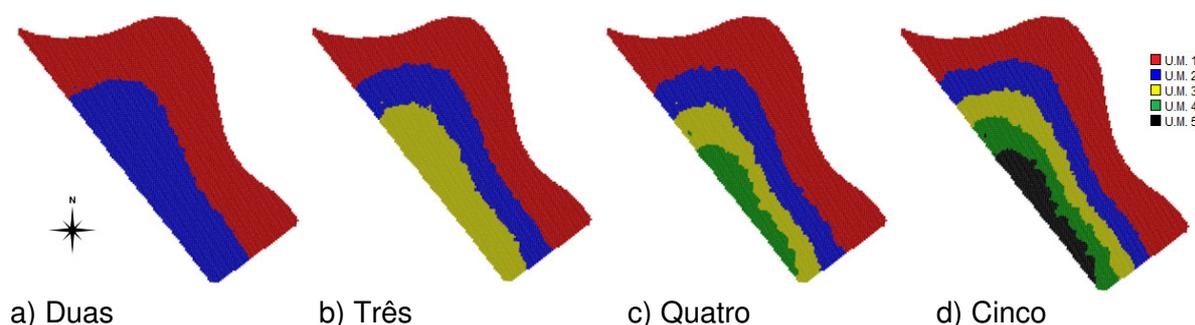
<i>Layer</i>	Altitude	Areia	Argila	RSP10_20	RSP0_20	Densidade	Zn	Silte	H+al	pH	Mg	Ca
Correlação	0,10283	0,086	-0,0857	0,07476	0,0642	-0,06249	-0,05	0,056	-0,042	0,037	-0,0347	0,034
Ordem	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

A partir da *layer* com menor correlação em módulo com a produtividade, isto é, a *layer* Ca, foram eliminadas as *layers* com correlação significativa com as *layers* restantes, restando somente a *layer* altitude para geração das unidades de manejo.

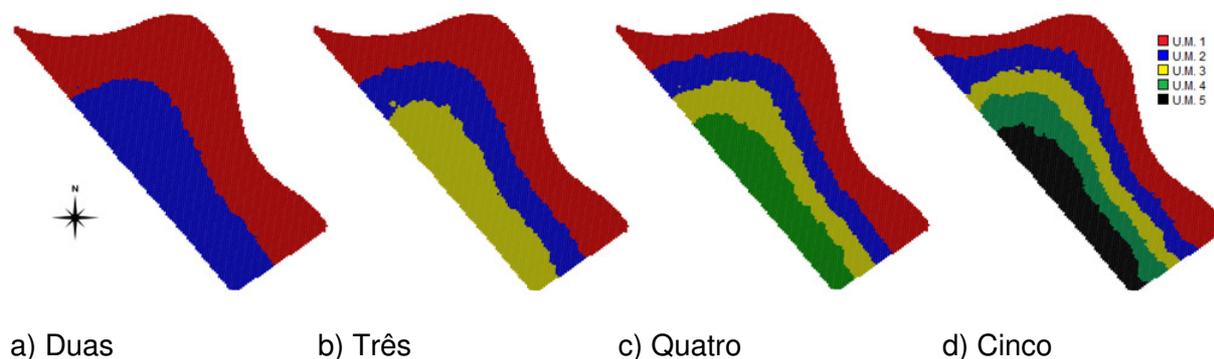


## 5.4 GERAÇÃO DE UNIDADES DE MANEJO

Haja vista a *layer* altitude ter sido selecionada como a melhor opção pela matriz de correlação espacial, foram geradas as unidades de manejo. Utilizaram-se os algoritmos de agrupamento K-Means (Figura 18) e Fuzzy C-Means (Figura 19), ao se fazer a divisão em 2, 3, 4 e 5 unidades de manejo, respectivamente. Visivelmente, a definição de unidades de manejo por diferentes métodos apresentou-se de forma similar, já que a classificação realizada por ambos os algoritmos corrobora com Ribeiro (2011).



**Figura 18** - Unidades de manejo, geradas utilizando o algoritmo K-Means e a *layer* altitude.



**Figura 19** - Unidades de manejo, geradas utilizando o algoritmo Fuzzy C-Means e a *layer* altitude.

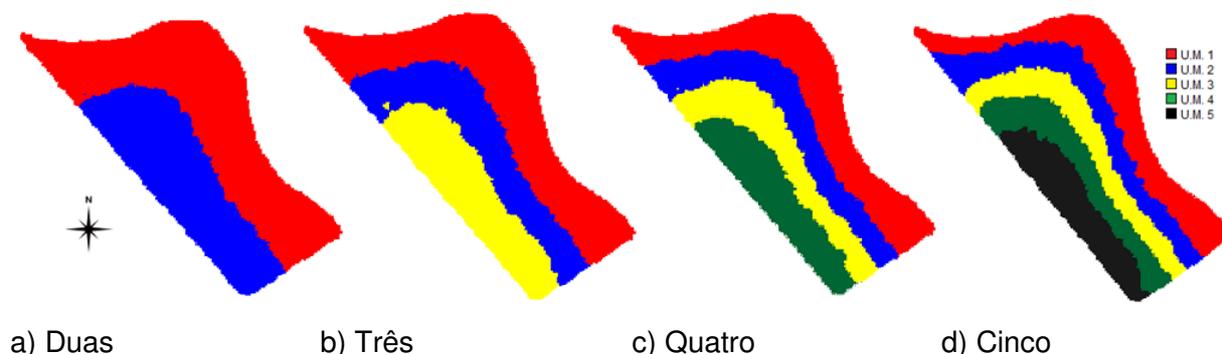
O índice Kappa de concordância, o índice de exatidão global e o índice TAU foram calculados a fim de se realizar uma avaliação quantitativa (Tabela 8). Pode-se verificar que a concordância entre os mapas diminuiu quando houve aumento do número de classes. Para a divisão em duas classes, houve pouca diferença e apenas 7 pixels (de 25m<sup>2</sup> cada) foram classificados de modo diverso.

**Tabela 8** - Índices de comparação dos mapas gerados pelos métodos K-Means e Fuzzy C-Means

Índice	2 classes	3 classes	4 classes	5 classes
Kappa	1	0,97	0,77	0,43
Exatidão Global	99,9%	97,8%	83,6%	56,2%
Tau	1	0,97	0,78	0,45

\* Índice Kappa considerado Excelente se Kappa > 0,81 (LANDIS & KOCH (1977, p.165))

Visando avaliar se os mapas gerados pelo software apresentaram-se similares com os mapas gerados a partir de procedimentos manuais e outros softwares, realizou-se a geração de unidades de manejo pelo método Fuzzy C-Means com o software FuzzMe, o qual foi configurado com os mesmos parâmetros utilizados no software SDUM (Figura 20).



**Figura 20** - Mapas de unidades de manejo, gerados pelo software FuzzMe e com geração dos mapas pelo software Surfer10.

De acordo com a comparação quantitativa (Tabela 9), a partir dos índices Kappa, Exatidão Global e TAU, verificou-se que, para todos os mapas, houve um índice de exatidão global superior a 91%. Isso indica boa similaridade entre os mapas e, conforme o aumento do número de unidades de manejo, essa similaridade, apesar de alta, diminuiu, contudo, essa situação foi verificada por meio dos três índices utilizados nesta análise.

**Tabela 9** - Índices de comparação dos mapas gerados pelos softwares SDUM e FuzzMe, utilizando o método Fuzzy C-Means

Índice	2 classes	3 classes	4 classes	5 classes
Kappa	1	0,98	0,95	0,89
Exatidão Global	99,9%	98,7%	96,0%	91,3%
Tau	1	0,98	0,95	0,89

\* Índice Kappa considerado Excelente se  $Kappa > 0,81$  (LANDIS & KOCH (1977, p.165))

## 5.5 AVALIAÇÃO DAS UNIDADES DE MANEJO

### 5.5.1 AVALIAÇÃO DO POTENCIAL PRODUTIVO DAS UNIDADES DE MANEJO

Para os mapas temáticos das unidades de manejo que foram geradas, a análise de variância (ANOVA) mostrou que a produtividade média da soja das unidades de manejo geradas pelo método K-Means (Figura 18) pode ser considerada diferente em cada sub-região apenas quando separadas por 2 classes, sendo que as sub-regiões possuem 11,8 ha (59,4%) e 8,0 ha (20,6%) (Tabela 10). Cada uma das sub-regiões desta classificação foi representada por 27 e 41 amostras de produtividade, respectivamente, e ambos os conjuntos de dados foram classificados com CV alto (entre 20% e 30%). O coeficiente de

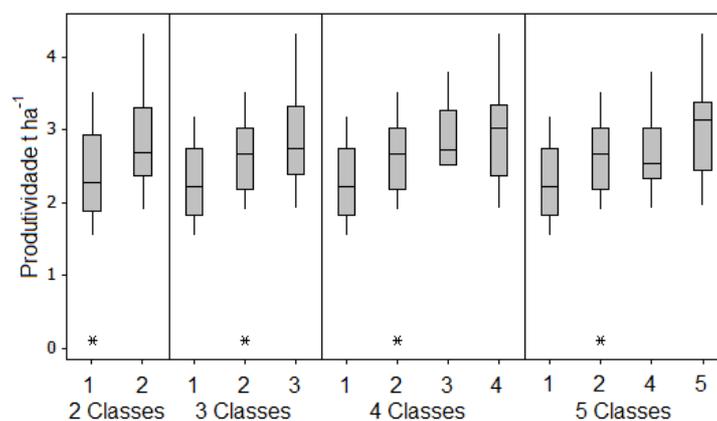
eficiência relativa demonstrou que a divisão entre as unidades de manejo foi válida para todas as divisões, pois  $ER > 1$ .

**Tabela 10** - Estatística descritiva e eficiência relativa dos dados de produtividade, separados por unidade de manejo, gerada pela técnica K-Means

Nº classes	UM	%área	N	Mínimo	Média	Mediana	Máximo	D. P.	Variância	C. V.	Var. Total	Ef. Rel.
2	1	59,4	28	0,10	2,34a	2,28	3,54	0,70	0,49	29,8	0,427	1,047
	2	40,6	40	1,89	2,81b	2,70	4,34	0,58	0,34	20,8		
3	1	47,7	23	1,55	2,32a	2,22	3,19	0,50	0,25	21,7	0,378	1,183
	2	27,2	18	0,10	2,56ab	2,67	3,54	0,78	0,6	30,3		
	3	25,1	27	1,92	2,91b	2,74	4,34	0,61	0,38	21,1		
4	1	50,4	23	1,55	2,32a	2,22	3,19	0,50	0,25	21,7	0,360	1,241
	2	25,0	18	0,10	2,56ab	2,67	3,54	0,78	0,60	30,3		
	3	15,2	5	2,51	2,86b	2,72	3,81	0,54	0,29	18,9		
	4	9,5	22	1,92	2,92b	3,02	4,34	0,64	0,41	21,9		
5	1	43,1	23	1,55	2,32a	2,22	3,19	0,50	0,25	21,7	0,307	1,458
	2	21,0	18	0,10	2,56ab	2,67	3,54	0,78	0,60	30,3		
	3	15,1	-	-	-	-	-	-	-	-		
	4	11,9	9	1,92	2,69ab	2,53	3,81	0,57	0,32	21,0		
	5	8,9	18	1,96	3,02b	3,13	4,34	0,62	0,38	20,5		

\* ANOVA com 95% de significância; D.P. – Desvio Padrão; C. V. – Coeficiente de Variação; Ef. Rel. – Eficiência Relativa; Var. Total – Soma das variâncias das unidades de manejo, considerando o percentual de área.

Como se pode verificar que (Figura 21), o agrupamento dos dados de produtividade, em conformidade com as unidades de manejo, apresentou os melhores resultados na divisão em duas classes quando o ponto discrepante inferior foi relacionado ao agrupamento de amostras que representam menor produtividade. Para os demais agrupamentos, a referida amostra foi classificada no agrupamento da classe 2 e segundo a ANOVA pode ser considerado em média com produtividade igual ao agrupamento de classe 1.



**Figura 21** - Gráfico Box-Plot separado por unidade de manejo, gerada por K-Means para os dados de produtividade.

Para os mapas gerados pelo método Fuzzy C-Means, pode-se verificar que no mapa gerado com duas classes, as produtividades médias da soja são estatisticamente diferentes a 95% de significância. Para os demais agrupamentos gerados, a ANOVA permitiu avaliar que a produtividade foi em média igual para pelo menos 2 sub-regiões. Lark & Stafford

(1997), utilizaram a Lógica Fuzzy e identificaram quatro sub-regiões com potencial produtivo distinto.

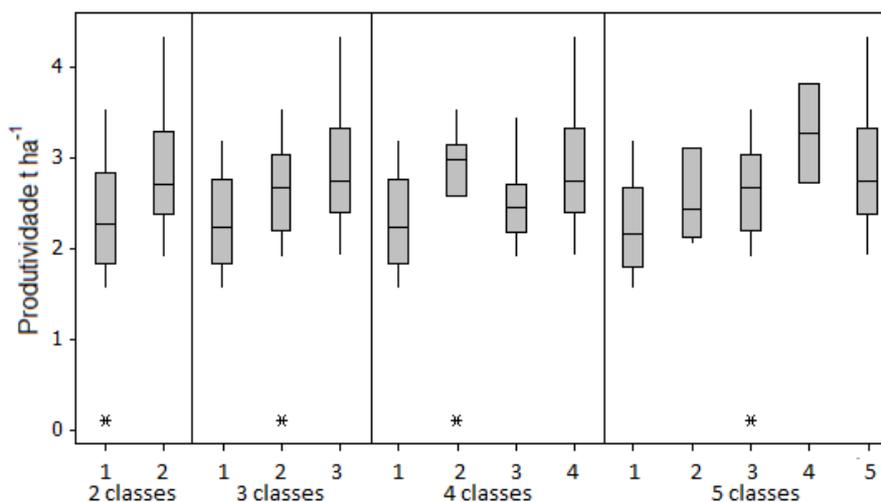
Apesar de todos os agrupamentos apresentarem-se como eficientes ( $ER > 1$ ), verifica-se que a divisão em 2 unidades de manejo apresentou ER próximo a 1, indicando que a variância dentro das classes sofreu pequena alteração em relação à variância total.

**Tabela 11** - Estatística descritiva e eficiência relativa dos dados de produtividade, separados por unidade de manejo, gerada pelo algoritmo Fuzzy C-Means

N classes	U. M.	%área	N	Mínimo	Média	Mediana	Máximo	D. P.	Variância	C. V.	Var. Total	Ef. Rel.
2	1	59,2	27	0,10	2,31a	2,26	3,54	0,69	0,48	29,9	0,420	1,06
	2	40,8	41	1,90	2,82b	2,71	4,34	0,58	0,34	20,6		
3	1	46,1	23	1,55	2,32a	2,22	3,19	0,50	0,25	21,7	0,378	1,18
	2	27,1	18	0,10	2,56ab	2,67	3,54	0,78	0,60	30,3		
	3	26,8	27	1,92	2,91b	2,74	4,34	0,61	0,38	21,1		
4	1	38,5	23	1,55	2,32a	2,22	3,19	0,50	0,25	21,7	0,501	0,89
	2	21,6	7	0,10	2,59b	2,96	3,53	1,14	1,29	43,9		
	3	19,0	11	1,90	2,54ab	2,45	3,45	0,50	0,24	0,20		
	4	20,9	27	1,91	2,91b	2,73	4,34	61,2	0,38	21,1		
5	1	32,0	17	1,55	2,24a	2,15	3,19	0,51	0,25	22,6	0,375	1,19
	2	19,7	6	2,05	2,54b	2,42	3,10	0,46	0,22	18,3		
	3	15,6	18	0,10	2,56a	2,67	3,54	0,78	0,60	30,3		
	4	15,7	2	2,72	3,26c	3,26	3,81	0,77	0,60	23,7		
	5	17,0	25	1,92	2,88a	2,74	3,54	0,61	0,37	0,21		

\* ANOVA com 95% de significância; D.P. – Desvio Padrão; C. V. – Coeficiente de Variação; Ef. Rel. – Eficiência Relativa; Var. Total – Soma das variâncias das unidades de manejo, considerando o percentual de área.

Conforme apresentado pelo gráfico de Box-Plot (Figura 22), existe melhor separação entre os conjuntos de dados quando utilizadas duas sub-áreas e verifica-se o aparecimento do ponto discrepante de forma mais coerente quando esse está contido na classe 1, a qual representa os menores valores da produtividade.



**Figura 22** - Gráfico Box-Plot separado por unidade de manejo, gerada por Fuzzy C-Means para os dados de produtividade.

### 5.5.2 AVALIAÇÃO DAS UNIDADES DE MANEJO COMO FONTE DE RECOMENDAÇÃO E ANÁLISE

A redução da densidade amostral é foco de discussões entre todos os pesquisadores da área (LINSLEY & BAUER, 1929) e segundo Peck (1990) está diretamente ligada à base econômica. Como a divisão da área em unidades de manejo considera o potencial produtivo da área, é importante avaliar se cada sub-região pode servir como fonte de recomendação e análise. Franzen & Kitchen (1999) concluíram que a amostragem para o nitrogênio (N) pode ser realizada de forma simples com sub-amostras dentro de cada unidade de manejo, com a diminuição dos custos.

Para Franzem & Kitchen (1999), é válido utilizar a produtividade como parâmetro de análise para avaliar e gerar unidades de manejo, apesar de comentarem que, em certos casos, podem ser geradas sub-regiões que não podem ser utilizadas para recomendação de certos nutrientes, inclusive de N. Para este trabalho, a divisão da área em duas unidades de manejo pode ser visualizada como a ideal, pois representa uma separação do potencial produtivo, em que a produtividade média mostrou-se diferente em cada sub-região (ANOVA) e a variância da produtividade foi reduzida quando houve a divisão dos conjuntos de dados ( $ER > 1$ ). Ao ser utilizada tal divisão, foram avaliados os demais atributos (Tabelas 12 e 13) em estudo com o objetivo de verificar se cada sub-região pode ser utilizada como fonte de recomendação e análise.

Verificou-se que os algoritmos K-Means e o Fuzzy C-Means apresentaram resultados semelhantes (Tabelas 12 e 13) e as mesmas conclusões. Os atributos químicos P, Cu e K não apresentaram bons resultados quando realizada a separação dos dados, em que  $EF < 1$ . O fato se confirmou com a análise de variância que mostrou que, em média, os conjuntos de dados são iguais. É importante notar que este fato é previsível, pois não possui correlação espacial significativa com a produtividade.

Para os atributos C, Fe, H+Al, Mg, pH, Zn, argila, silte, areia, RMP\_10\_20, RMP\_0\_20, densidade e altitude, além de  $EF > 1$ , a análise de variância apresentou que, em média, os conjuntos de dados foram diferentes para cada unidade de manejo, ou seja, as unidades de manejo podem ser utilizadas como fonte de recomendação e análise. Para esses atributos, somente o atributo C não apresentou-se correlacionado espacialmente com a produtividade de forma significativa, mas se correlacionou de forma negativa com a *layer* altitude ( $I_{yz} = 0,05329$ ) (Figura 17).

**Tabela 12** - Estatística descritiva dos dados separados por unidade de manejo, gerada pelo algoritmo K-Means

Atributos	UM	N	Mínimo	Média	Máximo	D.P.	CV	Variância	Var. Total	Ef. Rel.
P	1	47	9,60	21,2a	71,60	9,55	45,1	91,119	69,786	0,978
	2	40	9,90	18,3a	41,60	6,21	33,9	38,547		
Ca	1	47	5,87	7,4a	9,86	0,98	13,2	0,963	0,945	1,015
	2	40	5,52	7,7a	9,48	0,96	12,4	0,919		
C	1	47	23,77	29,7a	36,62	2,97	10,0	8,807	9,364	1,076
	2	40	21,82	28,0b	33,12	3,19	11,4	10,181		
Cu	1	47	1,20	2,5a	4,10	0,78	31,0	0,603	0,514	0,973
	2	40	1,60	2,6a	4,00	0,62	23,5	0,383		
Fe	1	47	28,00	33,5a	41,00	3,20	9,5	10,211	10,893	1,125
	2	40	30,00	35,9b	47,00	3,45	9,6	11,892		
H_Al	1	47	3,97	5,2a	6,69	0,81	15,6	0,662	0,745	1,163
	2	40	3,18	4,5b	7,20	0,93	20,5	0,866		
K	1	47	0,16	0,3a	0,89	0,12	40,3	0,015	0,011	0,943
	2	40	0,15	0,3a	0,45	0,07	24,3	0,005		
Mg	1	47	1,87	2,6a	3,69	0,41	16,0	0,167	0,152	1,079
	2	40	1,51	2,3b	3,33	0,36	15,6	0,129		
Mn	1	47	40,00	68,2a	92,00	10,72	15,7	114,999	143,758	1,024
	2	40	39,00	65,8a	98,00	13,63	20,7	185,871		
pH	1	47	5,00	5,5a	5,90	0,23	4,1	0,051	0,060	1,104
	2	40	5,00	5,6b	6,10	0,27	4,8	0,073		
Zn	1	47	1,00	5,7a	17,90	3,86	67,5	14,882	9,406	1,222
	2	40	1,00	2,3b	7,40	1,18	50,9	1,388		
Argila	1	25	63,00	72,4a	77,00	3,13	4,3	9,823	19,976	1,262
	2	20	60,00	68,0b	79,00	5,90	8,7	34,842		
Silte	1	25	17,00	18,8a	23,00	1,34	7,1	1,807	4,016	1,254
	2	20	15,00	20,8b	25,00	2,69	13,0	7,250		
Areia	1	25	6,00	8,8a	18,00	2,78	31,6	7,750	12,886	1,130
	2	20	6,00	11,3b	19,00	4,52	40,2	20,408		
IC_0_10	1	47	1099,70	1617,9a	2255,30	280,37	17,3	78611,740	80278,655	1,001
	2	40	1205,10	1673,7a	2380,40	287,61	17,2	82719,580		
RMP_10_20	1	47	1803,60	2210,6a	2756,40	200,90	9,1	40362,690	144849,657	1,234
	2	40	1550,80	2507,5b	3769,30	545,76	21,8	297854,764		
RMP_0_20	1	47	1526,10	1914,2a	2505,80	192,17	10,0	36928,151	83371,229	1,154
	2	40	1842,50	2090,6b	2995,30	389,08	18,6	151379,979		
Densidade	1	47	1,02	1,2a	1,30	0,05	4,7	0,003	0,004	1,338
	2	40	0,83	1,1b	1,24	0,08	7,3	0,006		
Altitude	1	47	701,00	703,4a	706,00	1,39	0,2	1,937	2,702	4,336
	2	40	707,00	709,4b	713,00	1,96	0,3	3,823		
Declividade	1	28	0,53	2,0a	5,12	1,26	63,6	1,593	1,441	0,949
	2	40	0,08	1,7a	4,87	1,10	63,9	1,218		
Produtividade	1	28	0,10	2,3a	3,53	0,70	29,7	0,486	0,427	1,473
	2	40	1,90	2,8b	4,34	0,58	20,8	0,34056		

\* ANOVA com 95% de significância; D. P. – Desvio Padrão; C. V. – Coeficiente de Variação; Ef. Rel. – Eficiência Relativa; Var. Total – Soma das variâncias das unidades de manejo, considerando o percentual de área.

Verificou-se que apesar dos atributos Ca, Mn, RMP\_0\_10 apresentarem-se com valores médios iguais (conforme apresentado pela estatística da ANOVA), a estatística de eficiência relativa também foi considerada satisfatória (Ef. Rel. > 1), apesar de apresentarem valores próximos a 1.

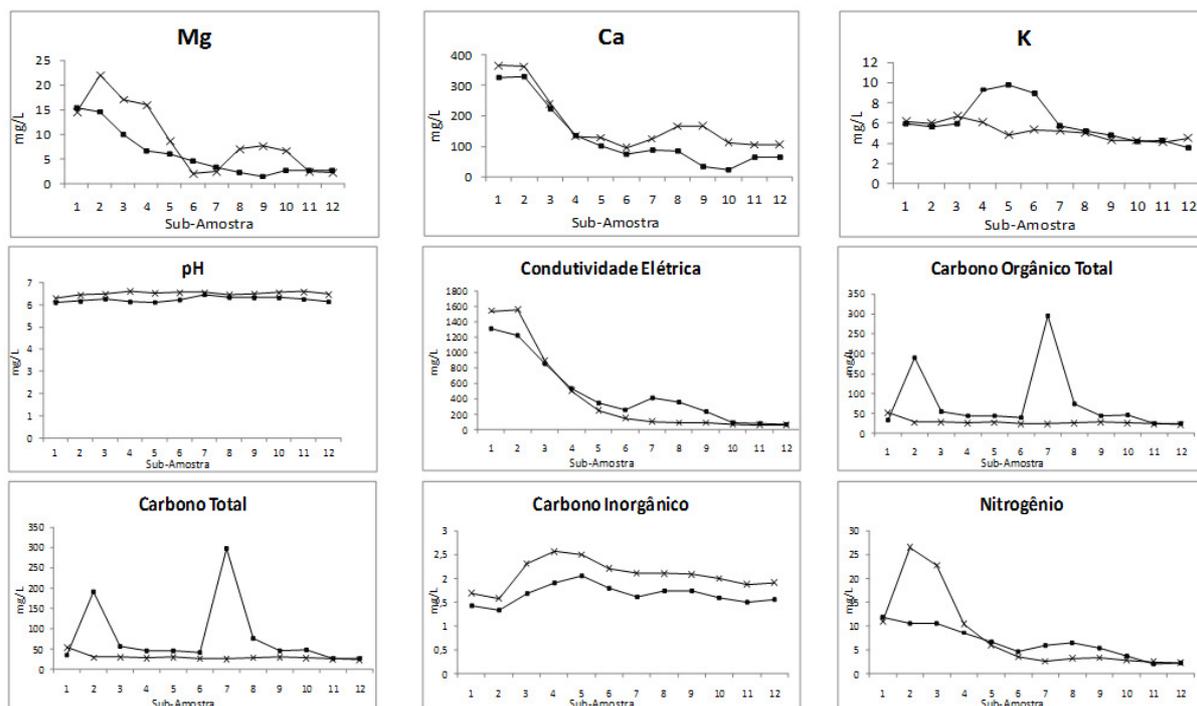
**Tabela 13** - Estatística descritiva dos dados separados por unidade de manejo, gerada pelo algoritmo Fuzzy C-Means

Atributos	UM	N	Mínimo	Média	Máximo	D. P.	CV	Variância	Var. Total	Ef. Rel.
P	1	47	9,6	21,2a	71,6	9,5	45,1	91,1	69,696	0,979
	2	40	9,9	18,3a	41,6	6,2	33,9	38,5		
Ca	1	47	5,9	7,4a	9,9	1,0	13,2	1,0	0,945	1,015
	2	40	5,5	7,7a	9,5	1,0	12,4	0,9		
C	1	47	23,8	29,7a	36,6	3,0	10,0	8,8	9,367	1,075
	2	40	21,8	27,9b	33,1	3,2	11,4	10,2		
Cu	1	47	1,2	2,5a	4,1	0,8	31,0	0,6	0,513	0,974
	2	40	1,6	2,6a	4,0	0,6	23,5	0,4		
Fe	1	47	28,0	33,5a	41,0	3,2	9,5	10,2	10,896	1,124
	2	40	30,0	35,8b	47,0	3,4	9,6	11,9		
H_Al	1	47	4,0	5,2a	6,7	0,8	15,6	0,7	0,745	1,162
	2	40	3,2	4,5b	7,2	0,9	20,5	0,9		
K	1	47	0,2	0,3a	0,9	0,1	40,3	0,0	0,011	0,944
	2	40	0,2	0,3a	0,5	0,1	24,3	0,0		
Mg	1	47	1,9	2,6a	3,7	0,4	16,0	0,2	0,152	1,079
	2	40	1,5	2,3b	3,3	0,4	15,6	0,1		
Mn	1	47	40,0	68,1a	92,0	10,7	15,7	115,0	143,880	1,023
	2	40	39,0	65,8a	98,0	13,6	20,7	185,9		
pH	1	47	5,0	5,5a	5,9	0,2	4,1	0,1	0,060	1,103
	2	40	5,0	5,6b	6,1	0,3	4,8	0,1		
Zn	1	47	1,0	5,7a	17,9	3,9	67,5	14,9	9,383	1,225
	2	40	1,0	2,3b	7,4	1,2	50,9	1,4		
Argila	1	25	63,0	72,4a	77,0	3,1	4,3	9,8	20,019	1,259
	2	20	60,0	68,0b	79,0	5,9	8,7	34,8		
Silte	1	25	17,0	18,8a	23,0	1,3	7,1	1,8	4,025	1,252
	2	20	15,0	20,8b	25,0	2,7	13,0	7,3		
Areia	1	25	6,0	8,8a	18,0	2,8	31,6	7,8	12,908	1,128
	2	20	6,0	11,3b	19,0	4,5	40,2	20,4		
RMP_0_10	1	47	1099,7	1617,9a	2255,3	280,4	17,3	78611,7	80285,73	1,001
	2	40	1205,1	1673,7a	2380,4	287,6	17,2	82719,6		
RMP_10_20	1	47	1803,6	2210,5a	2756,4	200,9	9,1	40362,7	145293,15	1,231
	2	40	1550,8	2507,5b	3769,3	545,8	21,8	297854,8		
RMP_0_20	1	47	1526,1	1914,2a	2505,8	192,2	10,0	36928,2	83568,36	1,151
	2	40	1842,5	2090,6b	2995,3	389,1	18,6	151380,0		
Densidade	1	47	1,0	1,2a	1,3	0,1	4,7	0,0	0,004	1,336
	2	40	0,8	1,1b	1,2	0,1	7,3	0,0		
Altitude	1	47	701,0	703,4a	706,0	1,4	0,2	1,9	2,706	4,330
	2	40	707,0	709,4b	713,0	2,0	0,3	3,8		
Declividade	1	27	0,5	2,0a	5,1	1,3	62,2	1,6	1,438	0,951
	2	41	0,1	1,7a	4,9	1,1	64,6	1,2		

\* ANOVA com 95% de significância; D. P. – Desvio Padrão; C. V. – Coeficiente de Variação; Ef. Rel. – Eficiência Relativa; Var. Total – Soma das variâncias das unidades de manejo, considerando o percentual de área.

### 5.5.3 AVALIAÇÃO DAS CURVAS DE LIXIVIAÇÃO POR UNIDADE DE MANEJO

A separação das curvas de lixiviação ocorreu conforme a divisão por unidade de manejo, assim, verificou-se que os resultados foram os mesmos para as divisões realizadas pelos métodos K-Means e Fuzzy C-Means. Foram gerados os gráficos de lixiviação média para cada atributo (Mg, Ca, K, pH, CE, COT, CT, Cl e N) em cada unidade de manejo (Figura 23).



**Figura 23** - Gráficos de lixiviação separados por unidade de manejo  $\blacksquare$  UM\_1  $\times$  UM\_2

Após a linearização dos dados ( $\log(x)$ ) de todos os parâmetros estudados, foram ajustadas as retas e obtidos os coeficientes angulares ( $\beta_1$ ) e lineares ( $\beta_2$ ), bem como o fator de ajuste ( $R^2$ ) (Tabela 14).

**Tabela 14** - Teste de comparação dos coeficientes angulares e lineares das curvas de eluição, a partir do pico de concentração até aproximadamente 4 volumes de poros

Atributos	Unidade Manejo	Coeficiente Angular (b)	Coeficiente Linear (a)	QME	Teste F (QME)		Teste T (b)		Teste T (a)		$R^2$
					F_calc	F_tab	T_calc	T_Tab	T_calc	T_Tab	
Mg	1	-0,59	0,591	0,02679	0,95	3,14	1,61	2,11	8,76	2,10	0,773
	2	-0,9148	0,8762	0,02811	QME_1 = QME_2		b_1 = b_2		a_1 $\neq$ a_2		0,793
Ca	1	-0,6109	1,9023	0,04272	3,32	3,14	-1,42	2,11	14,11	2,10	0,696
	2	-0,3892	2,1185	0,01286	QME_1 $\neq$ QME_2		b_1 = b_2		a_1 $\neq$ a_2		0,799
K	1	-0,0997	0,683	0,00372	1,55	3,64	0,24	2,11	6,89	2,10	0,498
	2	-0,1111	0,7006	0,00241	QME_1 = QME_2		b_1 = b_2		a_1 $\neq$ a_2		0,574
pH	1	0,0077	0,7966	0,00005	1,58	2,98	-0,15	2,09	8,35	2,08	0,247
	2	0,0085	0,8147	0,00003	QME_1 = QME_2		b_1 = b_2		a_1 $\neq$ a_2		0,530
CE	1	-0,7514	2,4066	0,06580	1,19	2,98	1,14	2,09	17,43	2,08	0,692
	2	-0,996	2,2146	0,05520	QME_1 = QME_2		b_1 = b_2		a_1 $\neq$ a_2		0,824
COT	1	-0,3553	1,6008	0,00925	3,42	4,06	-1,58	2,12	15,29	2,11	0,515
	2	-0,1748	1,4083	0,00270	QME_1 = QME_2		b_1 = b_2		a_1 $\neq$ a_2		0,762
CT	1	-0,6479	1,6583	0,02036	9,45	3,64	-4,00	2,11	16,85	2,10	0,721
	2	-0,1632	1,4428	0,00216	QME_1 $\neq$ QME_2		b_1 $\neq$ b_2		a_1 $\neq$ a_2		0,757
CI	1	0,0394	0,2208	0,00268	0,71	2,98	-0,14	2,09	3,11	2,08	0,133
	2	0,0461	0,3189	0,00378	QME_1 = QME_2		b_1 = b_2		a_1 $\neq$ a_2		0,128
N	1	-0,4042	0,7083	0,02749	1,99	3,02	4,62	2,09	4,62	2,09	0,609
	2	-1,2202	0,7003	0,01380	QME_1 = QME_2		b_1 $\neq$ b_2		a_1 $\neq$ a_2		0,916

Verificou-se que os atributos Ca e CT apresentaram diferentes variâncias ( $QME_1 \neq QME_2$ ) e os testes de comparação de retas não podem ser utilizados como conclusivos.

Ao se avaliar o coeficiente linear, verificou-se que todos os atributos foram diferentes a 95% de significância, apesar do K e Ca terem mostrado respostas iguais na análise de

solo, pela análise de variância; enquanto o Mg e C terem se apresentado em maior quantidade na UM\_1. Para Bertol et al. (2004), por lixiviação, as perdas de bases (Ca, Mg e K) variam de acordo com a disponibilidade desses e conforme a força de adsorção pelas partículas de solo. Desta forma, é previsível que se tenham quantidades totais de nutrientes nos lixiviados em locais onde há uma menor concentração conforme análise química do solo. Tal fato ocorreu para os nutrientes estudados, com exceção do Magnésio, que apesar de apresentar valores mais elevados na UM\_1, apresentou variação expressiva no total lixiviado, pois UM\_1 = 9,084 mg L<sup>-1</sup> e UM\_2 = 17,599 mg L<sup>-1</sup>.

**Tabela 15** - Totais lixiviados e resultados da análise química por unidade de manejo

Atributos	UM	Total Lixiviado	Média na análise Química
Mg	1	9,084	2,560 (cmolc dm <sup>-3</sup> )
	2	17,599	2,310 (cmolc dm <sup>-3</sup> )
Ca	1	140,199	7,414 (cmolc dm <sup>-3</sup> )
	2	235,088	7,743 (cmolc dm <sup>-3</sup> )
K	1	9,818	0,308 (cmolc dm <sup>-3</sup> )
	2	9,669	0,303 (cmolc dm <sup>-3</sup> )
CT	1	94,535	29,669 (g dm <sup>-3</sup> )
	2	52,363	27,945 (g dm <sup>-3</sup> )
COT	1	68,474	-
	2	42,855	-
Cl	1	3,196	-
	2	4,040	-
N	1	11,387	-
	2	13,518	-
pH	1	-	5,483
	2	-	5,635

Em relação ao potencial de lixiviação, verificou-se que para o N, a intensidade de lixiviação foi maior na UM\_2 e conforme teste de comparação de retas, se comportou de modo distinto que a UM\_1.

## 6 CONCLUSÕES

- Em relação ao software desenvolvido, pode-se concluir que:
  - O software se mostrou uma opção para definição de unidades de manejo pelos métodos contemplados e os métodos empíricos apresentaram desempenho superior quanto ao tempo de processamento. Apesar disso, o tempo de processamento para classificação das unidades de manejo com métodos de agrupamento se mostrou equivalente, quando comparada com o tempo gasto na computação fazendo uso do software FuzMe;
  - De acordo com as metodologias de avaliação de unidades implementadas de manejo, pôde-se avaliar qual é o potencial produtivo de cada sub-região e verificar se a unidade de manejo pode ser utilizada como fonte de recomendação e análise para determinado atributo, além de possibilitar a escolha da melhor divisão a ser utilizada;
  - O software permitiu o gerenciamento e armazenamento de dados de forma hierárquica, bem como facilitou manuseio, seleção e apresentação.
  
- Em relação aos dados utilizados para teste e validação do software:
  - A matriz de correlação possibilitou a seleção de *layers* para geração de unidades de manejo e a metodologia utilizada para eliminação das *layers* candidatas apresentou bons resultados;
  - Os mapas gerados pelos métodos de interpolação se mostraram similares aos gerados por softwares comerciais como Surfer 10;
  - A *layer* altitude permitiu a divisão da área em duas sub-regiões com potencial produtivo distinto para a cultura da soja;
  - Os algoritmos K-Means e Fuzzy C-Means se apresentaram similares quando utilizadas a *layer* altitude e a divisão em 2 e 3 unidades de manejo;
  - Apesar de permitir a avaliação das unidades de manejo, a estatística de eficiência relativa não foi conclusiva para a avaliação do número de unidades de manejo ideal, mas serviu como forma de eliminação de divisões em que não houve redução da variância;
  - A análise de variância (ANOVA) permitiu a identificação do potencial produtivo de cada unidade de manejo, e se essa pode ser utilizada como fonte de recomendação e análise;
  - Para os atributos estudados, com exceção do P, Ca, Cu, K, Mn e RMP\_0\_10, quando geradas duas unidades de manejo (tanto pelo algoritmo K-Means

como Fuzzy C-Means), as mesmas podem ser utilizadas como fonte de recomendação e análise;

- O nitrogênio na unidade de manejo 2 apresentou potencial de lixiviação de 221% maior que a unidade de manejo 1;
- Os atributos Ca, K, Mg, carbono orgânico total, carbono total carbono inorgânico não apresentaram potencial de lixiviação distinto quando separados em unidades de manejo na camada de 0-0,3 m.

## 7 REFERÊNCIAS

AMADO, T. J. C.; SANTI, A. L.; PONTELLI, C. B.; VEZANI, F. Agricultura de Precisão como ferramenta de aprimoramento do manejo do solo. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, p. 46-54, 2004. Número especial.

ANDERSON-COOK, C. M.; ALLEY, M. M.; NOBLE, R.; KHOSLA, R. Phosphorous and potassium fertilizer recommendation variability for two Mid-Atlantic Coastal Plain fields. **Soil Science Society of America Journal**. Madison, v. 63, n. 6, p. 1740–1747, 1999.

ANGELICO, J. C.; SILVA, I. N. Da. Eficiência da krigagem na estimativa das variáveis físicas e químicas do solo. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 1, n. 21, p.106-117, 2006.

ARAÚJO, E. C. Orientação a objetos com Java. Visual Books. 2008.

ASSUNÇÃO, R. M. Índices de autocorrelação espacial. Departamento de Estatística. Universidade Federal de Minas Gerais. 2003.

BAZZI, C. L.; SOUZA, E. G.; RODRIGUES, S.; NÓBREGA, L. H. L.; OPAZO, M. A. U.; SANTOS, D.; KONOPATZKI, M. R. S.; SUSZEK, G.. Definição de unidades de manejo para controle de plantas invasoras. In: **Avances en Ingeniería Rural 2007-2009**. Rosario: UNR, p. 835-842, 2009.

BARKER, J. Beginning Java Objects from concepts to code. 2. ed. New York: Apress. 2005.  
BARROS, L.; BASSANEZI, R. **Tópicos de lógica fuzzy e biomatemática**. Campinas: Unicamp/IMECC, 2006.

BAUER, C.; KING, G. **Java persistence with Hibernate**. Greenwich: Manning, 2005. 822 p.

BAUER, C.; KING, G. **Java persistence with Hibernate**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2007.

BERTOL, I.; GUADAGNIN, J. C.; CASSOL, P. C.; AMARAL, A. J.; BARBOSA, F. T. Perdas de fósforo e potássio por erosão hídrica em um inceptisol sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 1, p. 485-494, 2004.

BEZDEK, J. **Patter recognition with fuzzy objective function algorithms**. New York: Plenum Press, 1981.

BEZERRA, E. **Princípios de análise e projeto de sistemas com UML**. 2. ed. São Paulo: Campus, 2007. 380 p.

BEZZERA, C. A. **Projeto de sistemas de informação baseado em qualidade: uma abordagem voltada à pequena empresa**. 2001. 53 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia da Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

BLACKMORE, B. S.; LARSCHEID, G. Strategies for managing variability. In: European conference on precision agriculture, Warwick, 1997.

BLACKMORE, S. The interpretation of trends from multiple yield maps. **Computers And Electronics In Agriculture**, Orlando, v. 26, n. 200, p. 37-51, 2000.

BONHAM C. D.; REICH R. M.; LEADER K. K. Spatial cross-correlation of *Bouteloua gracilis* with site factors. **Grassland Science**, v. 41, n. 1, p. 196-201, 1995.

BOOCH, G.; RUMBAUGH, J.; JACOBSON, I. **UML. Guia do usuário**. 8. ed. Rio de Janeiro: Campus, 2000.

BOYDELL, B.; MACBRATNEY, A. B.; Identifying potential within-field management zones from cotton yield estimates. **Precision Agriculture**. v. 3, n. 1, p. 9-23. 2002.

BRADFORD, J. M. Penetrability. In: A. Klute (ed.) *Methods of soil analysis physical, chemical and mineralogical methods*. **American Society of Agronomy**. Madison, 1986.

BROWN, L.; FLAVIN, C.; FRENCH, H. Estado do mundo 2000. Tradução H. Mallett. Salvador: UMA Editora, 2000. 288p.

CANILLAS, E. C.; SALAKHE, V. M. A decision support system for compaction assessment in agricultural soils. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 65, n. 1, p. 221-230, 2002.

CARPERS, J. **Applied software measurement: global analysis of productivity and quality**. Columbus: McGraw-hill Companies, 2008.

COLVIN, T. S. et al. Yield variability within a central Iowa field. **International Journal of the American Society of Agricultural and Biological Engineers**, Joseph, p. 883-889, 1997.

COHEN J. A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement*. **New York University**. v. 20, n. 1, p. 37-46, 1960.

CONCEIÇÃO, F. T.; BONOTTO, D. M. Relações hidroquímicas aplicadas na avaliação da qualidade da água e diagnóstico ambiental na bacia do Rio Corumbataí (SP). **Geochimica Brasiliensis**, v. 16, n. 1, p. 1- 21, 2002.

CONGALTON, R. G.; GREEN, K. A practical look at sources of confusion in error matrix generation. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Reston, v. 59, n. 5, p.641-644, 1993.

CORDEIRO, J.S. Importância do tratamento e disposição adequada dos lodos de ETAs. In: REALI, M.A.P. (Coord.). *Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água*. Rio de Janeiro: ABES, p.1-19. 1999.

CORRÊA, M. M.; LIMA, L. A.; MARTINEZ, M. A.; RIGINATO, R. L. O.; SAMPAIO, S. C. Deslocamento miscível de sulfona de aldicarbe em colunas de solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n. 2, p. 217-221, 1999.

CORTEZ, Lucas Aguilar et al. Relações Espaciais entre caulinita e Gibbita e a estabilidade dos agregados de latossolo. In: SÍMPOSIO DE GEOESTATÍSTICA APLICADA EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS, 2009, Botucatu. **Anais...** . Botucatu, 2009. CD-ROM.

COSTA, J. M.; OLIVEIRA, E. F. de. **Fertilidade do solo e nutrição de plantas: culturas: soja-milho-trigo-algodão-feijão**. 2 ed. Campo Mourão: COAMO, Cascavel: COODETEC, 2001. 93 p.

CRAIG, R. D.; JASKIEL, S. P. **Systematic software testing**. London: Artech House Publishers. 2002.

DEITEL, H. M. **Java: Como programar**. 6. ed. New Jersey: Prentice-hall, 2005. 1152 p.

- DEITEL, H. M. **Java: Como programar**. 4. ed. New Jersey: Prentice-hall, 2003. 1386 p.
- DYNIA, J. F.; SOUZA, M. D.; BOEIRA, R. C. Lixiviação de nitrato em Latossolo cultivado com milho após aplicações sucessivas de lodo de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 1, p. 855-862, 2006.
- DOBERMANN, A.; PING, J. L.; ADAMCHUK, V. I.; SIMBAHAN. G. C.; FERGUSON, R. B. Classification of crop yield variability in irrigated production fields. **Agronomy Journal**, Madison, v. 95, n. 1, p. 1105-1120, 2003.
- DOBERMANN, A.; PING, J. L. Geostatistical integration of yield monitor data and remote sensing improves yield maps. **Agronomy Journal**, Madison, v. 96, n. 1, p. 285-297. 2004.
- DOERGE, T. A. **Management zones concepts**. Site-specific management guidelines. Norcross: Potash & Phosphate Institute, 2000. 135 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997.
- FALKER Automação Agrícola. Parâmetros para avaliação da resistência à penetração. Nota de Aplicação – PLG1020 – n. 3. 2009.
- FRANZEN, D. W.; PECK, T. R. Field soil sampling density form variable rate fertilization. **Journal of Production Agriculture**. Madison, v. 8, n. 4, p. 568 - 574, 1995.
- FRAISSE, C. W.; SUDDUTH, K. A.; KITCHEN, J. R. Delineation of site-specific management zones by unsupervised classification of topographic attributes and soil electrical conductivity. **International Journal of the American Society of Agricultural and Biological Engineers**, Joseph, v. 1, n. 44, p. 155-166, 2001.
- FRANKE, R. Scattered data interpolation: Test of some methods. **Mathematics of Computations**, Providence, v. 33, n. 157, p. 181-200, 1982.
- FRIDGEN, J. J.; KITCHEN, N. R.; SUDDUTH, K. A.; DRUMMOND, S. T.; WIEBOLD, W. J.; FRAISSE, C. W. Management zone analyst (MZA): software for subfield management zone delineation. **Agronomy Journal**, Madison, v. 96, p. 100-108, 2004.
- FERGUSON, R. B.; LARK, R. M.; SLATER, G. P.; Approach to management zone definition form use of nitrification inhibitors. **Soil Science Society of American Journal**. Madison, v. 67, n. 1, p. 937-947, 2003.
- FLEMING, K. L.; HEERMANN, D. F.; WESTFALL, D. G. Evaluating soil color with farmer input and apparent soil electrical conductivity for management zone delineation. **Agronomy Journal**. Madison v. 96, n. 6, p. 1581-1587, 2004.
- FOODY, G. M. On the compensation for chance agreement in image classification accuracy assessment. **Photogrammetric Engineering and I Remote Sensing**. Reston, v. 58, n. 10, p. 1459-1460, 1992.
- FRANZEN, D. W. KITCHEN, N. R. Developing management zones to target nitrogen applications. Postash & Phosphate Institute. 1999.

GENTIL, D. F.; FERREIRA, S. A. Viabilidade e superação da dormência em sementes de araçá-boi (*Eugenia stipitata*ssp. *sororia*). **Acta Amazonica**, Manaus, v. 29, n. 2, p.21-31, 1999.

GIANELLO C.; BISSANI C. A.; TEDESCO M. J. **Princípios de fertilidade do solo**. Porto Alegre: Departamento de Solos da UFRGS, 1995. 276 p.

GUEDES, T. A. **UML – Uma abordagem prática**. São Paulo: Novatec, 2001. 320 p.

HORNUNG, A.; KHOSLA, R.; REICH, R. M.; INMAN, D.; WESTFALL, D. G. Comparison of Site-Specific Management Zones: Soil-Color-Based and Yield-Based. **Agronomy Journal**. Madison, v. 98, n. 1, p. 407 - 415, 2006.

JAYNES, C. K.; KASPAR, T. C.; COLVIS, T. S.; JAMES, D. E. Cluster analysis of spatiotemporal corn yield patterns in an Iowa field. **Agronomy Journal**. Madison, v. 95, n. 3, p. 574-586, 2003.

JENSEN, J. R. Introductory digital image processing. **Englewood Cliffs**: Prentice - Hall, 1986. 51 p.

JHONSON, C. K.; DORAN, J. W.; DUKE, H. R.; WIENHOLD, B. J.; SCKRIDGE, K. M.; SHANAHAN, J. F. Field-Scale electrical conductivity mapping for delineating soil condition. **Soil Science Society of American Journal**. Madison, v. 65. n. 6, p. 1829-1837, 2001.

JOHNSON, C. K.; Mortensen, D. A.; Wienhold, B. J.; Shanahan, J. F.; Doran, J. W. Site-specific management zones based on soil electrical conductivity in a semiarid cropping system. , Madison, v.1, n. 95, p. 303-315, 2003.

KEKLER, D. Surfer® for Windows. User's guide. Golden Software, Inc. 1994.

KHOSLA, R.; INMANN, D.; WESTFALL, D. G.; REICH, R. M.; FRASIER, M.; MZUKU, M.; KOCH, B.; HORNUNG, A. A synthesis of multi-disciplinary research in precision agriculture: site-specific management zones in the semi-arid western Great Plains of the USA. **Precision Agriculture**. New York. v. 9, n.1, p. 85-100, 2008.

KHOSLA, R.; FLEMING, K. L.; DELGADO, J. A.; SHAVER. T. M.; WESTFALL, D. G. Use of site-specific management zones to improve nitrogen management for precision agriculture. **Journal of Soil and Water Conservation**. n. 6, v. 57, p. 513-518, 2002.

KIEHL, E. J. Manual de edafologia – relação solo-planta. São Paulo: CERES, 1979.

KUHAR, J. E. **The precision-farming guide for agriculturists**. Moline, p.177, 1997.

LAMPARELLI, R. A. C.; ROCHA, J. V.; BORGHI, E. **Geoprocessamento e agricultura de precisão. Fundamentos e aplicações**. Rio Grande do Sul: Agropecuária, 2001. 118 p.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, Arlington, v. 33, n.1, p.159-174, 1977.

LARK, R. M.; STAFFORD, J. V. Classification as a first step in the interpretation of temporal and spatial variation of crop yield. **Annals of Applied Biology**. n. 130. p. 111-121. 1997.

LARSCHEID G.; BLACKMORE, B. S. Interactions between farm managers and information systems with respect to yield mapping. In: 3<sup>rd</sup> International Conference on Precision Agriculture. ASA, CSSA, SSSA, ASAE. P.1153-1163. 1996.

LINDSAY, W.L. Zinc in soils and plant nutrition. **Advances in Agronomy**, New York, v.24, n. 1, p. 147-186, 1972.

LINDSLEY, C. M.; BAUER, F. C. **Test your soil for acidity**. University of Illinois. Agriculture Exp. 1929.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. Interpretação de análise do solo: Conceito e aplicação. Lavras: Associação Nacional para Difusão de Adubos - ANDA. Boletim técnico n.º2. Julho de 1992. 45 p.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L. H. C.; SILVA, E. M. R.; Atributos químicos e físicos de um argissolo vermelho-amarelo em sistema integrado de produção agroecológica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.44, n.1, p68-75, 2009.

LUZ, N. C. **Algoritmos de clusterização como apoio à modelagem de preditores de sítios arqueológicos baseados em variáveis ambientais**. 2004. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica e de Computação, Departamento de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2004.

MA, Z.; REDMOND, R. L. Tau coefficient for accuracy assessment of classification of remote sensing data. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Reston, v. 61, n. 4, p. 435-439, 1995.

MALAVOLTA, E. Manual de química agrícola adubos e adubação. 3 ed. São Paulo: Ceres. 1981.

MARTINS, M. V.; CARVALHO, M. P.; ANDREOTTI, M. Correlação linear e espacial entre a produtividade do feijoeiro e atributos físicos de um latossolo vermelho distroférico de Servíria, Estado de Mato Grosso do Sul. **Acta Scientiarum. Agronomy**. Maringá, v.3, n.1, p-147-154. 2009.

MEDEIROS, E. **Desenvolvendo software com UML 2.0**. São Paulo: Makron Books, 2004. 288 p.

MIELKE, P. W. J.; BERRY, K. J. Permutation methods: a distance function approach. **Springer**, New York. p. 439. 2007.

MINASNU, B.; MCBRATNEY, A. B. FuzzyMe 3.0. Australian Center for Precision Agriculture. The University of Sydney. Sydney. 2002.

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

MOLIN, J. P. **Fatores restritivos à adoção da agricultura de precisão**. Disponível em: <<http://www.esalq.usp.br/departamentos/ler/download/TEC%202002.09.PDF>>. Acesso em: 19 jul. 2009.

MOLIN, J. P. Agricultura de Precisão: O gerenciamento da variabilidade. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 22, n. 1, p. 83-92, 2002.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. 1999. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 399p.

- ODELL, J. J. **Análise e projeto orientados a objeto**. São Paulo: Makron Books, 1995.
- ONGLEY, E. D. **Controle da poluição da água pelas atividades agrícolas**. Campina Grande: UFPB, FAO. Irrigação e Drenagem, 2001. 92 p.
- P. FILHO, W. P. **Engenharia de software: Fundamentos, técnicas, métodos e padrões**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003. 602 p.
- PAVAN, M. A; BINGHAM, F. T. Toxidez de metais em plantas. I. Caracterização de toxidez de manganês em cafeeiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 16, n.6, p.825-821, 1981.
- PECK, T. R. Soil testing: Past, present and future. *Commun. Soil Science Plant.* v. 21. p. 1165-1186, 1990.
- PETERS, J. F.; PEDRYCZ, W. **Engenharia de software: Teoria e prática**. São Paulo: Campus, 2001. 602 p.
- PIMENTEL, F. G.; GARCIA, G. H.. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**. Piracicaba: Biblioteca de Ciências Agrárias Luiz de Queiroz, 2002. 307 p.
- PING, J. L.; DOBERMANN, A. Creating spatially contiguous yield classes for site-specific management. **Agronomy Journal**. Madison, v. 95. p. 121-113. 2003.
- PRESSMANN, R. S. **Engenharia de software**. 5. ed. Columbus: Mcgraw-hill Companies, 2002. 843 p.
- PRESSMANN, R. S. **Engenharia de software**. São Paulo: Makron Books, 1995. 1056 p.
- RAIJ, V. B. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo; Piracicaba: Ceres; Potafos, 1991. 343 p.
- RAMIREZ-LOPEZ, L.; REINA-SANCHEZ, A. & CAMACHO-TAMAYO, J.H. Variabilidad espacial de atributos físicos de um Typic Haplustox de los Llanos Orientales de Colômbia. **Engenharia agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 1,p. 55-63, mar. 2008. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S010069162008000100006&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010069162008000100006&lng=pt&nrm=iso)>. Acesso em: 13 mar. 2009.
- RODRIGUES JUNIOR, F. A.; VIEIRA, L. B.; QUEIROZ, D. M.; SANTOS, N. T. Geração de zonas de manejo para cafeicultura empregando-se sensor SPAD e análise foliar. Campina Grande. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 15,n. 8, P.778-787, 2011.
- RODRIGUES, J. B. T.; ZIMBACK, C. R. L. Delimitação de zonas de manejo através da análise e classificação de mapas de produtividade de milho e soja. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 17, n. 1, p. 44-61, 2002.
- RUSPINI, E. H. **A new approach to clustering**. San Antonio: Inf. Control. v. 15, p. 22-32, 1969.
- REICH, R. M. Spatial Statistical modeling of natural resources. Colorado State University. Fort Collins. 2008.
- REICHERT, J. M.; DARIVA, T. A.; REINERT, D. J. SILVA, V. R. Variabilidade espacial de Planossolo e produtividade de soja em várzea sistematizada: análise geoestatística e análise de regressão. **Ciência Rural**. Santa Maria-RS. v. 38, n. 4, p. 981-988, 2008.

RÍPOLI, T. C.; MIALHE, L. G.; NAKAMURA, R. T. Subsolação e subsoladores. Piracicaba DER/ESALQ, **Universidade de São Paulo**, p. 1-32, 1985.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B.; CORREA, G. F. **Pedologia base para distinção de ambientes**. 4. ed. Viçosa, MG: NEPUT, 2002, 338p.

SANTOS, J. P.; STEINKE, E.T.; GARCÍA-ZAPATA, M. T. A.; JARDIM, K. R. C.; OBARA, M. T. **Uso do Sensoriamento Remoto como Ferramenta Auxiliar na entomologia médica: levantamento entomológico de culicídeos no parque nacional de Brasília-DF**. Brasília: Ministério da Saúde, 2009. 9 p.

SCHEPERS A. R.; SHANAHAN J. F.; LIEBIG M. A.; SCHEPERS J. S.; JOHNSON S. H.; LUCHIARI J. A.; Appropriateness of management zones for characterizing spatial variability of soil properties and irrigated corn yields across years. **Agronomy Journal**, Madison, v. 96, p. 195-203, 2004.

SHATAR, T. M.; MCBRACTNEY, A. B. Empirical modeling of relationships between sorghum yield and soil properties. **Precision Agriculture**, Guilford, v. 1, n. 1, p. 125-152, 1999.

SILVA, P. C. M.; CHAVES, L. H. G. Avaliação e variabilidade espacial de fósforo, potássio e matéria orgânica em Alissolos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 5, n. 3, p.431-436, 2001.

SILVA, R. F.; BORGES, C. D.; GARIB, D. M.; MERCANTE, F. M. Atributos físicos e teor de matéria orgânica na camada superficial de um argissolo vermelho cultivado com mandioca sob diferentes manejos. **Revista brasileira de ciência do Solo**. v. 23. n. 6. Viçosa. 2008.

SILVA, V. R.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em plantio direto. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 34, n. 2, 2004.

SIQUEIRA, O. J.; MOREIRA, S. M. F.; LOPES, S. A. Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição mineral de plantas: base para um novo paradigma na agrotecnologia do século XXI. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Lavras – MG. Universidade Federal de Lavras-MG, p. 1-10. 1999.

SOUZA, C. K.; MARQUES JÚNIOR, J.; MARTINS FILHO, M. V.; PEREIRA, G. T. Influência do relevo e erosão na variabilidade espacial de um latossolo em Jaboticabal (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.6, p.1067-74, 2003.

SOUZA, Z. M.; JUNIOR, J. M.; PEREIRA, G. T.; BARBIERI, D. M. Variabilidade espacial da textura de um latossolo vermelho eutroférico sob cultivo de cana de açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**. Botucatu. v. 24, n. 2, 2004.

SPERA, S. T.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Efeitos de Sistemas de Produção de Grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos de solo e na produtividade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 28, n. 1, p. 533-542, 2004.

STAFFORD, J.V.; LARK, R.M.; BOLAM, H.C. Using yield maps to regionalize fields into potential management units. In: ROBERT, P.C.; RUST, R.H.; LARSON, W.E. *Proceedings of the fourth international conference on precision agriculture*. St. Paul: American Society of Agronomy, Crop Science society of America, Soil Science Society of America. p. 225-237. 1998.

STAFFORD, J. V. AMBLER, B.; LARK, R. M.; CATT, J. Mapping and interpreting yield variation in cereal crops. **Computers And Electronics In Agriculture**, Netherland, v.14, n. 2, p. 101-119, 1996.

STORY, M.; CONGALTON, R.G. Accuracy assessment: a user's perspective. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Reston, v.52, n.3, p.397-9, 1986.

SUSZEK, G. **Determinação de unidades de manejo a partir de mapas de produtividade normalizada e padronizada equivalente na cultura da soja**. 2007. 100 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2007.

SWINDELL, j. Mapping the spatial variability in the yield potential of arable land through GIS analysis of sequential yield maps. In: 1<sup>st</sup> European Conference on Precision Agriculture. BIOS Scientific. P. 827-834. Warwick – UK. 1997.

TAYLOR, J. C. et al. Site-Specific Analysis & Management. **American Society of Agronomy**, Madison, v. 99, p. 1366-1376, 2007.

TAYLOR, J. C.; WOOD, G. A.; EARL, R.; GODWIN, R. J. Soil Factors and their Influence on Within-field Crop Variability, Part II: Spatial Analysis and Determination of Management Zones. **Biosystems Engineering**, Amsterdam, v. 4, n. 84, p. 441-453, 2003.

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

VALE, R. F.; FURTINI, N. E. A.; RESENDE, V. A.; GUILHERME, G. R. L.; GUEDES, A. A. G. Fertilidade do solo. Lavras: UFLA; Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão – FAEPE, p. 343-350, 2001.

VAN RAIJ, B. Avaliação da fertilidade do solo. **Instituto da Potassa e Fosfato: Instituto Internacional da Potassa**, Piracicaba SP, 1983. 142p.

VENTURIERI, A.. **Segmentação de imagens e lógica nebulosa para treinamento de uma rede neural artificial na caracterização do uso da terra na Região de Tucuruí (PA)**. 1996. 115 f. Dissertação (Mestrado), Departamento de Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Universidade Federal de Goiás, São José Dos Campos, 1996.

VIEIRA, M. L.; KLEIN, V. A. Propriedades físico-hídricas de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 1271-1280, 2007.

VOLK, L. B. S.; COGO, N. P.; STRECK, E. V. Erosão hídrica influenciada por condições físicas de superfície e subsuperfície do solo resultantes do seu manejo, na ausência de cobertura vegetal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 763-774, 2004.

WANG, H. J.; SHI, X.Z.; YU, D. S.; WEIDORF, D. C.; HUANG, B.; SUN, W. X.; RITSEMA, C. J.; MILNE, E. Factors determining soil nutrient distribution in a small-scaled watershed in the purple soil region of Sichuan Province, **Soil and Tillage Research**. China, v. 105, n. 3, p. 300-306, 2009.

WEBSTER, R.; OLIVER, M. A. **Statistical Methods in soil and land resource survey**. New York: Oxford University Press. 1990.

WEIRICH NETO, P. H.; BORGHI, E.; SVERZUT, C. B.; MANTOVANI, E. C.; GOMIDE, R. L.; NEWES, W. L. C. Análise multivariada da resistência do solo à penetração sob plantio direto. *Ciência Rural*. vol. 36, n. 4, p. 1186-1192, 2006.

WOLLENHAUPT, N. C.; MULLA, D. J.; CRAWFORD, G. Soil sampling and interpolation. techniques for mapping spatial variability of soil properties. In: PIERCE, F. J., SADLER, E. J. **The state of site-specific management for agriculture**. Madison: ASA-CSSA- SSSA, 1997. p. 19-53.

WOLLENHAUPT, N. C.; WOLKOWSKI, R. P. Grid soil sampling. **Better Crops with Plant Food**, Norcross, v.78, n.4, p. 6-9, 1994.

XIANG, L. Delineation and Scale Effect of Precision Agriculture Management Zones Using Yield Monitor Data Over Four Years. **Agriculture Sciences**, Maryland, v. 6, n. 2, p. 180-188, 2007.

YAN, L.; ZHOU, S.; FENG, L.; HONG-YI, L. Delineation of site-specific management zones using fuzzy clustering analysis in a coastal saline land. **Computer an Electronics in Agriculture**. n. 25, p.174-186, 2007.

ZADEH, L. A. **Fuzzy sets**. San Antonio: Inf. Control. v. 8, p. 338-353, 1965.

ZIMBACK, C. R. L. **Geoestatística**. Botucatu/SP: UNESP, 2003. 25 p.

## APÊNDICES

## APÊNDICE I

### MÓDULO DE GERENCIAMENTO DE PROJETOS

O software foi estruturado considerando o gerenciamento de projetos de forma isolada, pois, a cada projeto, podem ser inseridas diversas áreas, e nessas, faz-se o cadastramento de amostras (P, K, N, Mg, Mn, entre outras), geram-se mapas temáticos, realizam-se análises de correlação espacial, geram-se unidades de manejo para avaliá-las. Desta forma, foi desenvolvido um módulo de gerenciamento de Projetos (MGP) que compreende as operações que podem ser realizadas com um projeto (Figura 1).



Figura 1 - Módulo de Gerenciamento de Projetos.

São disponibilizadas as operações:

-  Criar novo Projeto;
-  Abrir projeto;
-  Salvar projeto;
-  Fechar projeto;
-  Gerenciar projeto.

#### 1.1 CRIAR PROJETO

É a funcionalidade responsável pela criação de novos projetos. Após clicar o botão **Criar Projeto**, é apresentado o assistente para criação de projetos (Figura 2). Nesta etapa, deve-se informar um nome para o projeto a ser criado e selecionar o local em que se deseja salvá-lo no computador local.

São previamente sugeridos o nome e a pasta, que podem ser modificados conforme desejo do usuário. Há possibilidade de salvar o diretório selecionado como padrão (para serem utilizados em novos projetos) ao se marcar a opção “Salvar como diretório padrão”.

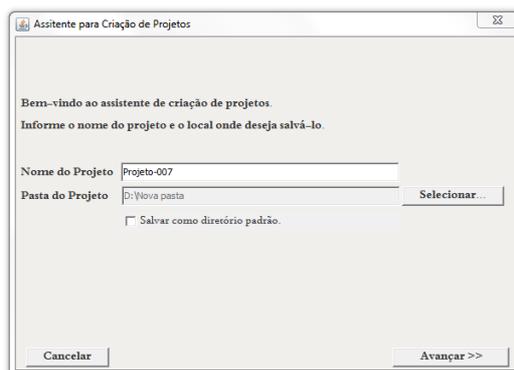


Figura 2 - Assistente para Criação de Projetos.

Após informados os dados solicitados, clica-se no botão avançar (Figura 2), em seguida, o assistente apresenta a opção de seleção do imóvel (um imóvel é a propriedade rural que pode conter varias áreas de plantio), o qual se deseja relacionar ao projeto a ser criado (Figura 3). Pode ser selecionado um imóvel já cadastrado ou realizar novo cadastrado ao se utilizar a opção  (verificar módulo de gerenciamento de dados não-espaciais).

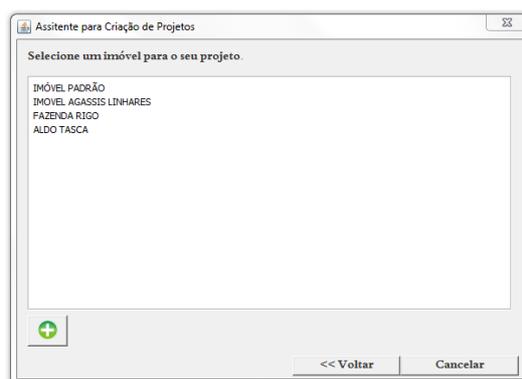


Figura 3 - Seleção do imóvel.

Antes da finalização do processo de criação de um novo projeto, faz-se necessária a seleção de um responsável (Figura 4), o qual pode ter sido cadastrado previamente ou pode-se realizar o cadastro por meio da opção  (verificar módulo de gerenciamento de dados não-espaciais).

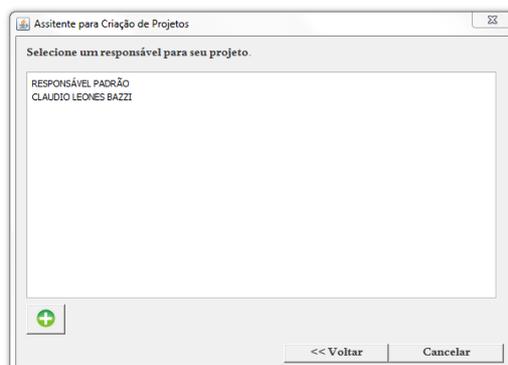


Figura 4 - Seleção do Responsável.

Durante qualquer uma das etapas, o Assistente de Criação de Projetos pode ser cancelado utilizando-se o botão **Cancelar**, localizado no canto inferior esquerdo da tela.

## 1.2 ABRIR PROJETO

Permite que seja aberto, pela aplicação, um projeto salvo anteriormente. Ao clicar o botão **Abrir Projeto** , é aberta uma tela para pesquisa de projetos (Figura 5), onde os projetos podem ser consultados pelo nome (ou parte do nome do projeto), pela data de criação ou realizar a busca por todos os projetos para que seja realizada a seleção.

Após selecionado o projeto que se deseja abrir, é preciso clicar o botão 'abrir' para que o projeto seja carregado.

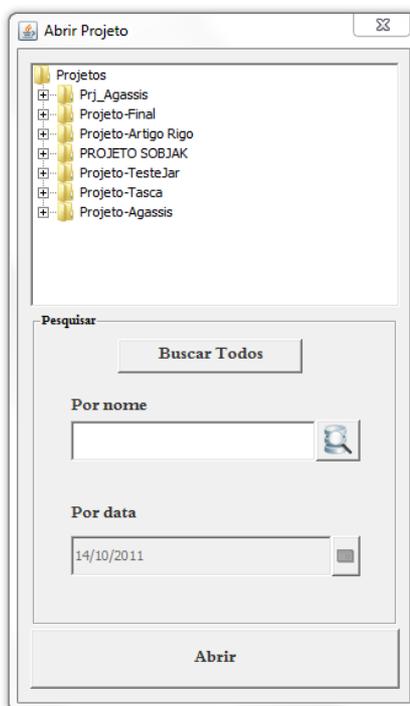


Figura 5 - Abrir Projeto.

## 1.3 SALVAR PROJETO

Ao clicar na opção **salvar projeto** , o estado atual do projeto é salvo e poderá ser utilizado posteriormente.

## 1.4 FECHAR PROJETO

Para fechar um projeto, é preciso clicar na opção **Fechar Projeto** . Ao clicar nessa opção, o projeto será salvo e fechado.

## 1.5 GERENCIAR PROJETO

Ao clicar na opção de **Gerenciar Projeto** , é apresentada a tela de Gerenciamento de Projetos (Figura 6) e é possível a seleção e consulta de projetos por nome (ou parte do nome), por data (entre duas datas), por responsável, por imóvel ou ainda buscar todos quando se clica o botão **Busca Todos** .

É possível realizar *backups* dos projetos quando se seleciona o projeto desejado e clica-se em **Backup** . Neste caso, pode-se optar por selecionar manualmente o caminho (diretório) para salvar um *backup* ou salvá-lo no diretório padrão.

Os projetos também podem ser excluídos, sendo necessária a seleção do(s) projeto(s) para, em seguida, clicar na opção excluir .

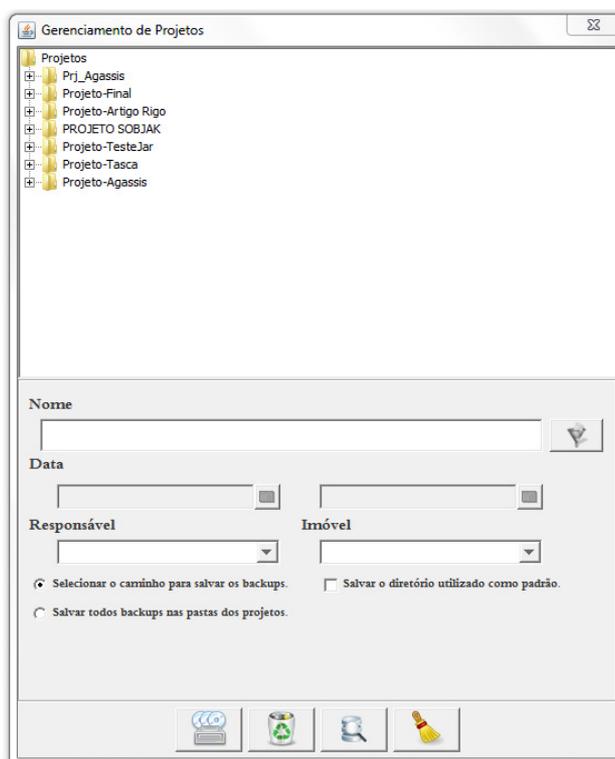


Figura 6 - Gerenciamento de Projetos.

## APÊNDICEII

### MÓDULO DE MANIPULAÇÃO DE DADOS ESPACIAIS

A fim de dar suporte à manipulação e visualização de dados espaciais, foi desenvolvido o módulo manipulação de dados espaciais (MMDE), o qual é responsável pelo gerenciamento de áreas e amostras (Figura 1).



Figura 1 - Módulo de manipulação de dados espaciais.

Este módulo contempla as seguintes operações:

-  Gerenciar pastas de arquivos;
-  Cadastrar áreas;
-  Cadastrar amostras;
-  Renderizar áreas;
-  Renderizar amostras;
-  Excluir camadas;
-  Gerar arquivo.kml;
-  Visualizar arquivo.kml.

#### 1.1 GERENCIAR PASTAS DE ARQUIVOS

Esta opção visa facilitar a organização e cópia de arquivos para a pasta padrão do projeto que está sendo manipulado. Acessa-se a opção **Gerenciar pastas de arquivos** , assim, será apresentada uma tela de seleção de pastas, e devem ser copiadas as pastas que contêm os arquivos com coordenadas geográficas para a pasta do projeto que está sendo manipulado.

## 1.2 CADASTRO DE ÁREAS

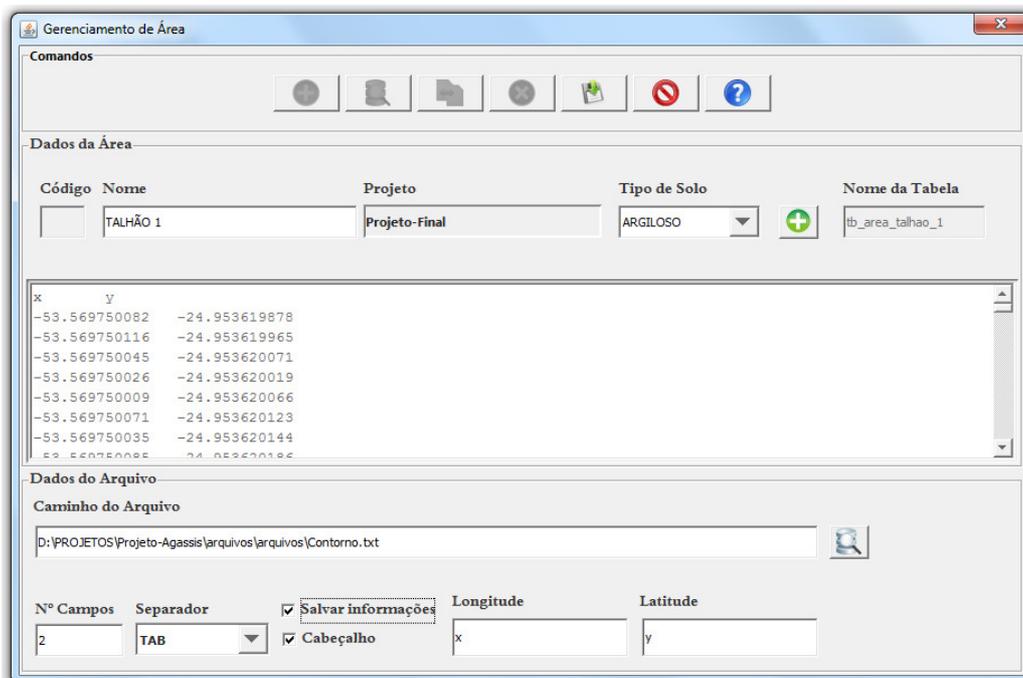
Após clicar o botão **Cadastrar Áreas** , é aberta a tela de cadastro de áreas (Figura 3). O cadastro de novas áreas compreende ainda outras operações como consultar por áreas, alterar área, excluir área, salvar, cancelar, além de uma opção de ajuda (Figura 2).



Figura 2 - Operações do Cadastro de Áreas.

Para cadastrar uma nova área, há necessidade de executar a opção **Nova Área**  e informar os dados da área, os quais compreendem a descrição da área e o tipo de solo. A área fica atrelada ao projeto corrente e o nome da tabela é atribuído automaticamente.

Para completar o cadastro, há necessidade de informar o nome e o local de onde está armazenado o arquivo no formato texto, o qual contém as coordenadas geográficas referentes ao polígono que representa a área em estudo. Os dados devem ser apresentados em formato Longitude/Latitude e separados em colunas distintas, e ser utilizado o padrão WGS84 como Datum padrão. Após informar o caminho e o nome do arquivo, são preenchidos pela ferramenta o número de campos, o separador e as informações de cabeçalho. Os dados devem ser comparados com as características apresentadas pelo arquivo antes de clicar na opção salvar.



Gerenciamento de Área

Comandos

Dados da Área

Código	Nome	Projeto	Tipo de Solo	Nome da Tabela
	TALHÃO 1	Projeto-Final	ARGILOSO	tb_area_talhao_1

Dados do Arquivo

Caminho do Arquivo

D:\PROJETOS\Projeto-Agassis\arquivos\arquivos\Contorno.txt

Nº Campos: 2    Separador: TAB     Salvar informações    Longitude: x    Latitude: y

Cabeçalho

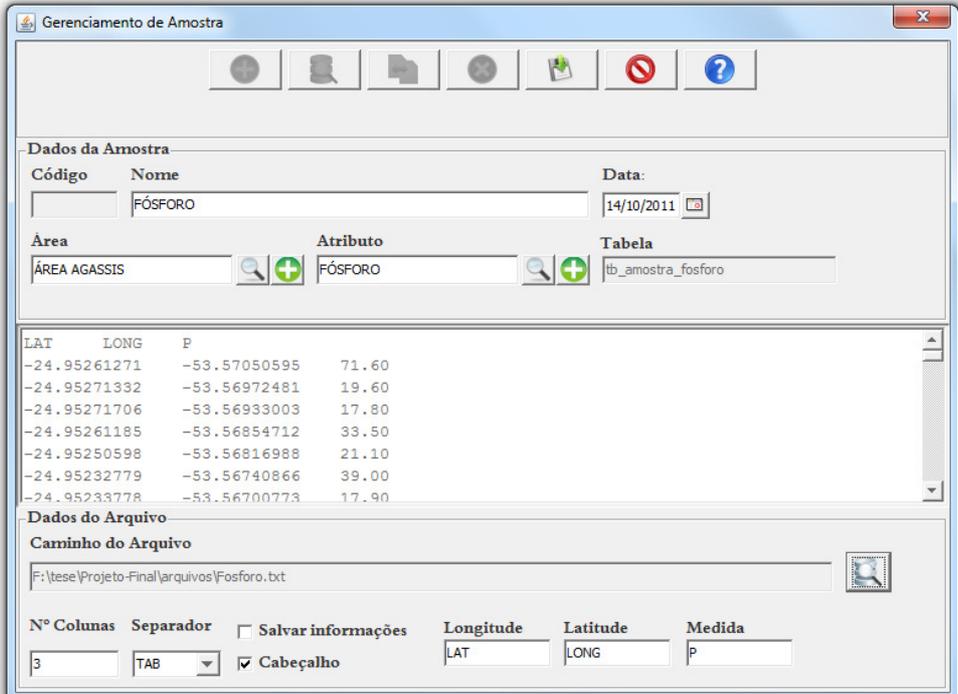
Figura 3 - Tela de Cadastro de Áreas.

### 1.3 CADASTRO DE AMOSTRAS

Na tela de Cadastro de Amostras, são cadastrados dados de amostragens coletadas em campo. Após clicar o botão **Cadastrar Amostras**, é apresentada a tela de Cadastro de Amostras (Figura 4). E de forma semelhante ao cadastro de áreas, o cadastro de amostras também compreende operações de consultar, alterar, excluir, salvar, cancelar, bem como uma opção de ajuda (Figura 2).

Para adicionar nova amostra, é necessário clicar na opção **nova amostra** e informar os dados da amostra, compreendendo a descrição, a data de coleta, a área onde os dados foram coletados e o atributo amostral.

Faz-se necessário ainda informar o nome e o local onde se encontra o arquivo com os dados da amostra, o qual deve conter as coordenadas geográficas de cada ponto amostral e o valor do atributo amostral. Cada ponto amostral corresponde a um ponto (geométrico), contendo coordenadas geográficas no padrão Longitude/Latitude separados em colunas distintas, o qual deve ser utilizado o padrão WGS84 como Datum. Ao informar o caminho do arquivo, são preenchidos pela ferramenta o número de campos, o separador e informações de cabeçalho, que serão comparados às características do arquivo no formato texto, antes de clicar na opção salvar.



**Dados da Amostra**

Código: [ ] Nome: FÓSFORO Data: 14/10/2011

Área: ÁREA AGASSIS Atributo: FÓSFORO Tabela: tb\_amostra\_fosforo

LAT	LONG	P
-24.95261271	-53.57050595	71.60
-24.95271332	-53.56972481	19.60
-24.95271706	-53.56933003	17.80
-24.95261185	-53.56854712	33.50
-24.95250598	-53.56816988	21.10
-24.95232779	-53.56740866	39.00
-24.95233778	-53.56700773	17.90

**Dados do Arquivo**

Caminho do Arquivo: F:\tese\Projeto-Final\arquivos\Fosforo.txt

Nº Colunas: 3 Separador: TAB  Salvar informações  Cabeçalho Longitude: LAT Latitude: LONG Medida: P

Figura 4 - Tela de Cadastro de Amostras.

## 1.4 RENDERIZAÇÃO DE ÁREAS

É a funcionalidade utilizada para apresentação de áreas que são apresentadas em formato de polígonos. Ao clicar em **Renderizar Área** , é apresentada a tela de seleção de áreas (Figura 5). Nesta, são apresentadas as opções de pesquisa, por nome (ou parte), por tamanho (podendo selecionar maior do que ou menor do que determinado tamanho informado – em ha) e pelo tipo de solo, além de possibilitar a apresentação de todas as áreas cadastradas no banco de dados.

Após a seleção a área desejada, é necessário executar a opção renderizar área  para apresentação do polígono que representa a área selecionada.

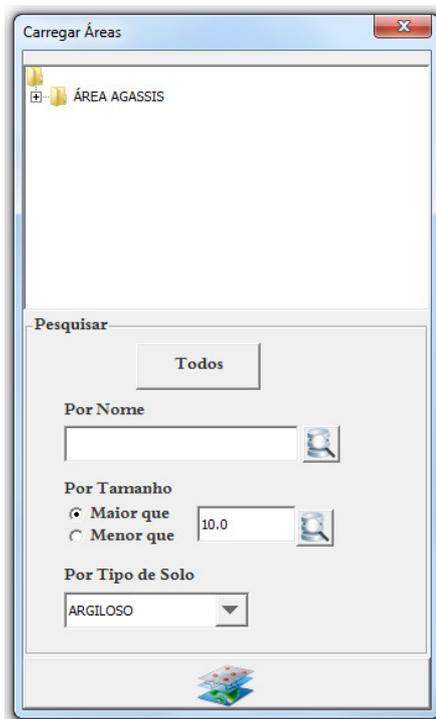


Figura 5 - Carregar Áreas.

## 1.5 RENDERIZAÇÃO DE AMOSTRAS

É a funcionalidade utilizada para apresentação dos locais onde foram realizadas amostragens em determinada área. Ao executar a opção **Renderizar Amostra** , é apresentada uma tela de seleção de área, que indica qual é a área que deseja ser apresentada a grade amostral (Figura 6). São apresentadas opções de busca por nome (ou parte), por tamanho (podendo selecionar maior do que ou menor do que determinado tamanho informado) e pelo tipo de solo, além da possibilidade de listar todas as áreas cadastradas.

Selecionada a área desejada, a próxima etapa (botão **Próximo** localizado na parte inferior da tela) corresponde à seleção da amostra previamente cadastrada no banco de dados. Para esta etapa, é apresentada a tela de carregamento de amostras (Figura 7), e podem ser realizadas buscas por todas as amostras, por data ou pelo atributo amostral. Depois de selecionada a amostra, executa-se a opção **Renderizar Amostra** .

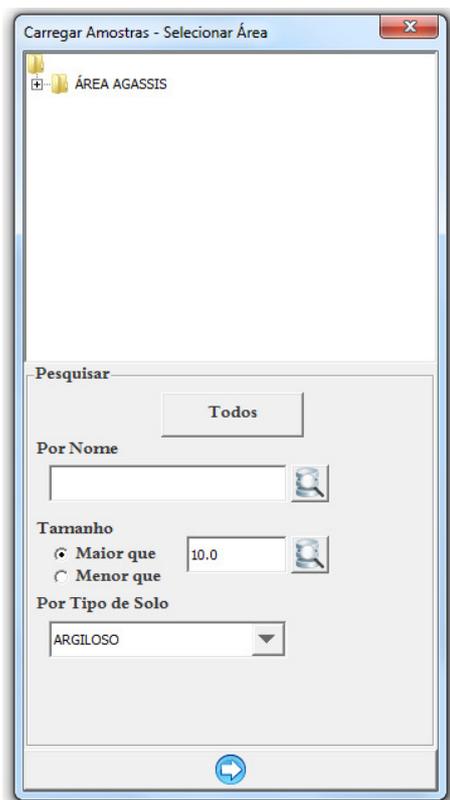


Figura 6 - Seleção de Área.

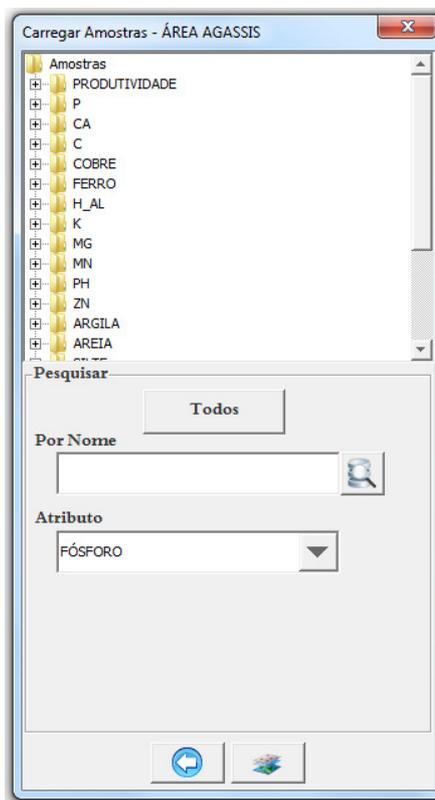


Figura 7 - Renderização de Amostras.

## 1.6 EXCLUIR CAMADAS

É possível realizar a exclusão de camadas (*layers*) que estão em modo de exibição na tela do usuário pela opção **Excluir Camadas** . As *layers* excluídas do modo de visualização permanecem no banco de dados.

## 1.7 GERAÇÃO DE ARQUIVO KML

**KML** (*Keyhole Mark up Language* ou Linguagem de marcação de *Keyhole*) é um formato de arquivo usado para exibir dados geográficos no Google *Earth*.

Para gerar um arquivo com extensão “.kml”, é necessário executar a opção **Gerar Arquivo kml**. Será apresentada a tela para a seleção da área e busca por nome (ou parte), pelo tamanho ou pelo tipo de solo. Após selecionar a área, clica-se no botão **Gerar Arquivo .Kml**, localizado na parte inferior da tela (Figura 8). São solicitados o nome e o caminho para salvar o arquivo .kml (Figura 9) e podem ser utilizados o nome e o local padrão (o local padrão é a pasta kml do projeto).

Ao clicar na opção **Salvar**, a área será visualizada no software *Google Earth*.

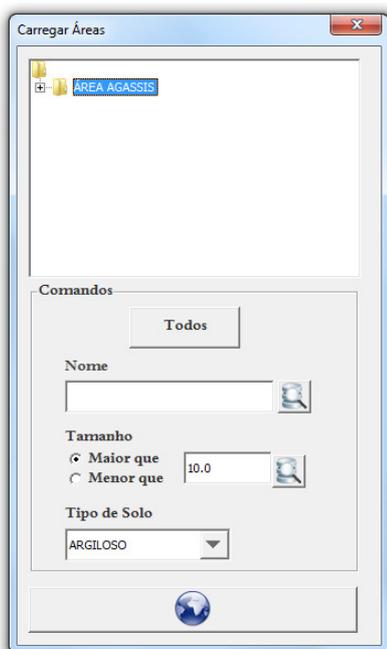


Figura 8 - Tela Gerar Arquivo kml.

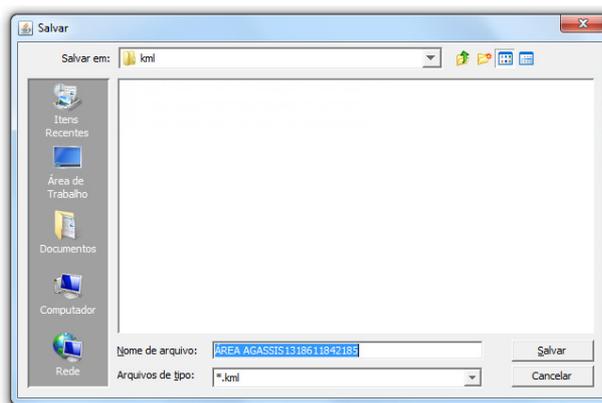


Figura 9 - Salvar arquivo kml.

OBS: Para visualização de arquivos ‘kml’, é necessária a instalação do *Google Earth* na máquina local.

## 1.8 VISUALIZAÇÃO DE ARQUIVO KML

Para visualização de um arquivo '.kml', armazenado no computador, deve-se executar a opção **Abrir Arquivo kml** . Será apresentada a janela para abrir o arquivo .kml no local em que ele foi salvo e clica-se na opção **Abrir**, assim, a área será visualizada no software *Google Earth* (Figura 10).

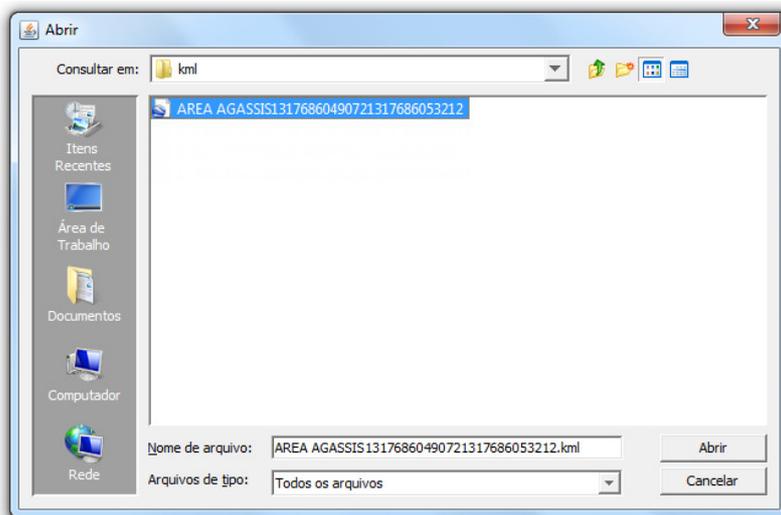


Figura 10 - Abrir arquivo kml.

OBS: Para visualização de arquivos '.kml', é necessária a instalação do *Google Earth* na máquina local.

## APÊNDICE III

### MÓDULO DE GERENCIAMENTO DE DADOS NÃO ESPACIAIS

Este módulo contempla a estrutura para dar suporte ao gerenciamento de tabelas de dados que possuem somente atributos não espaciais (Figura 1).

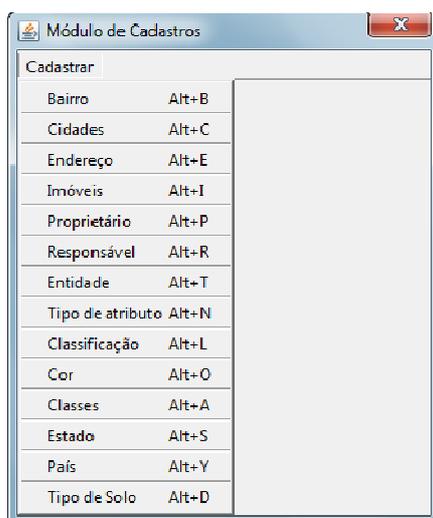


Figura 1 - Módulo de gerenciamento de dados não espaciais.

Este módulo contempla as seguintes operações:

- Gerenciar Bairros;
- Gerenciar Cidades;
- Gerenciar Endereços;
- Gerenciar Imóveis;
- Gerenciar Proprietários;
- Gerenciar Responsáveis;
- Gerenciar Entidades;
- Gerenciar Tipos de Atributos;
- Gerenciar Classificações;
- Gerenciar Cores;
- Gerenciar Classes;
- Gerenciar Estados;
- Gerenciar País;
- Gerenciar Tipo de Solo.

Ao clicar na opção do menu desejado, é apresentada a tela de gerenciamento da entidade selecionada. Para todas as operações, utilizou-se um menu de comandos padrão, o qual contempla as funcionalidades (Figura 2) :



Figura 2 - Menu Cadastro.

- **Inserir**: Permite que seja cadastrado novo registro no banco de dados;
- **Salvar**: Salvar o registro digitado pelo usuário, no banco de dados;
- **Cancelar**: Cancela os dados digitados pelo usuário que não foram salvos;
- **Alterar**: Altera os dados de um registro salvo anteriormente no banco de dados;
- **Excluir**: Exclui o registro do banco de dados;
- **Pesquisar**: Retorna todos os cadastros armazenados;
- **Ajuda**: fornece acesso ao tópico de ajuda.

## 1.1 GERENCIAR BAIROS

Ao clicar na opção do menu **Gerenciar Bairros**, é apresentada a tela de gerenciamento de bairros (Figura 3). Para cadastrar um novo bairro, é necessário acessar a opção **Inserir** e informar o **nome/descrição** do mesmo, contemplando o máximo de 60 caracteres alfanuméricos. O código será automaticamente gerado pelo sistema.

Após o preenchimento, a confirmação de cadastro é realizada pela opção **Salvar** . Caso deseje cancelar o cadastramento, deve-se acessar a opção **Cancelar** . A atualização pode ser realizada quando inicialmente se consultam os dados cadastrados, pela opção **Pesquisar** e após realizada a alteração desejada, deve-se confirmar a alteração pela opção **Alterar** . A exclusão pode ser realizada pela opção **Excluir** , e só poderá ser excluído um registro quando o mesmo não estiver relacionado com outra tabela do banco de dados.

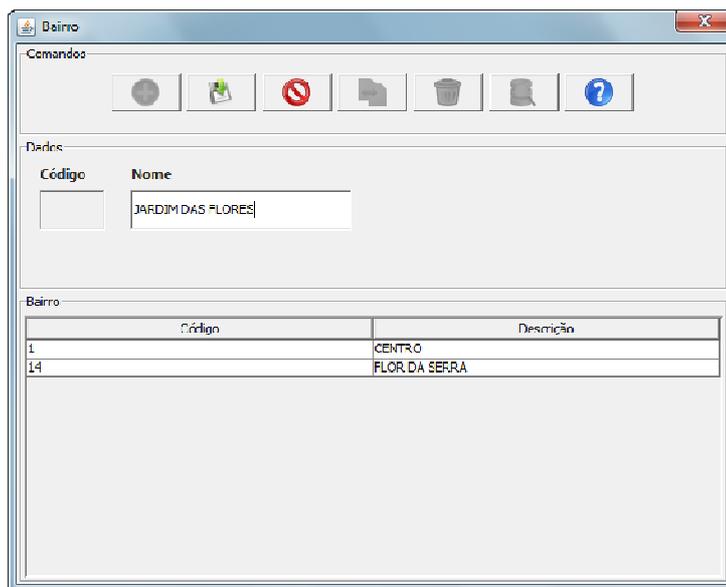


Figura 3 - Gerenciamento de Bairros.

## 1.2 GERENCIAR CIDADES

Ao clicar na opção do menu **Gerenciar Cidades**, é apresentada a tela de gerenciamento de cidades (Figura 4). Para cadastrar uma nova cidade, é necessário acessar a opção **Inserir**  e informar alguns dados sobre a cidade de deseja cadastrar:

- **Nome/descrição** da mesma, contemplando o máximo de 60 caracteres alfanuméricos;
- Seleção do **Estado** onde a cidade está localizada, pela opção **Pesquisar Estados**  (localizada ao lado do campo Estado). Ao clicar nessa opção, é apresentada a tela de seleção de Estados. Caso o Estado da cidade não esteja cadastrado no banco de dados, é possível cadastrá-lo pela opção **Cadastrar Estados**  (localizada ao lado do campo estado). Ao clicar nesta opção, será apresentada a tela de cadastro de Estados;
- O código da cidade será automaticamente gerado pelo sistema.

Após o preenchimento, a confirmação de cadastro é realizada pela opção **Salvar** . Caso deseje cancelar o cadastramento, deve-se acessar a opção **Cancelar** . A atualização pode ser realizada, inicialmente, aos se consultarem os dados cadastrados, pela opção **Pesquisar**  e após realizada a alteração desejada, deve-se confirmar a alteração pela opção **Alterar** . A exclusão pode ser realizada pela opção **Excluir** , mas somente poderá ser excluído um registro quando o mesmo não estiver relacionado com outra tabela do banco de dados.

The screenshot shows a window titled "Cidade" with a toolbar containing icons for insert (+), cancel (no), search (magnifying glass), alter (pencil), and delete (trash). The "Dados" section contains three input fields: "Código" (empty), "Nome" (containing "CASCAVEL"), and "Estado" (containing "PARANÁ"). Below the form is a table with the following data:

Código	Descrição	Estado
1	CURITIBA	PARANÁ
3	FORTANÓPOLIS	SANTA CATARINA
2	PORTO ALEGRE	RIO GRANDE DO SUL
4	MEDIANEIRA	PARANÁ

Figura 4 - Gerenciamento de Cidades.

### 1.3 GERENCIAR ENDEREÇOS

Ao clicar na opção do menu **Gerenciar Endereços**, é apresentada a tela de gerenciamento de endereços (Figura 5). Para cadastrar um novo endereço, é necessário acessar a opção **Inserir** e informar o **nome/descrição** do mesmo, contemplando o máximo de 60 caracteres alfanuméricos. O **código** do endereço será automaticamente gerado pelo sistema.

Após o preenchimento, a confirmação de cadastro é realizada pela opção **Salvar** . Caso deseje cancelar o cadastramento, deve-se acessar a opção **Cancelar** . A atualização pode ser realizada, inicialmente, ao se consultarem os dados cadastrados, pela opção **Pesquisar** e após realizada a alteração desejada, deve-se confirmar a alteração pela opção **Alterar** . A exclusão pode ser realizada pela opção **Excluir** e só poderá ser excluído um registro quando o mesmo não estiver relacionado com outra tabela do banco de dados.

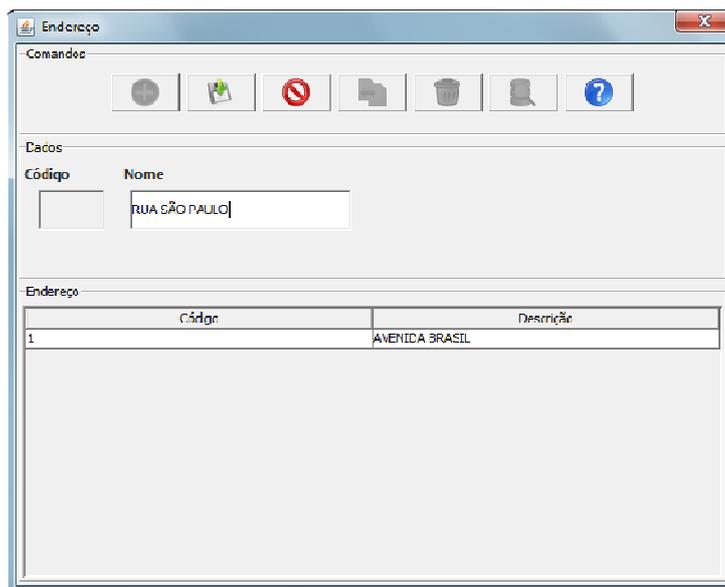


Figura 5 - Gerenciamento de Endereços.

#### 1.4 GERENCIAR IMÓVEIS

Ao clicar na opção do menu **Gerenciar Imóveis**, é apresentada a tela de gerenciamento de imóveis (Figura 6). Para cadastrar um novo imóvel, é necessário acessar a opção **Inserir**  e informar alguns dados do imóvel:

- **Nome/Descrição** do imóvel, contemplando o máximo de 60 caracteres alfanuméricos, corresponde a um nome/descrição atribuído a um imóvel, normalmente presente no cadastro da Receita Federal;
- Número do Imóvel no **INCRA** que contempla o máximo de 20 caracteres alfanuméricos, compreende o número de identificação do imóvel no Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária - INCRA;
- **NRF** (Número na Receita Federal) do imóvel, contemplando o máximo de 15 caracteres alfanuméricos, compreende o número de identificação do imóvel na Receita Federal;
- Seleção da **Cidade** onde o imóvel está localizado, pela opção **Pesquisar Cidades**  (localizada ao lado do campo cidade). Ao clicar nessa opção, é apresentada a tela de seleção da cidade. Caso a cidade do imóvel não esteja cadastrada no banco de dados, é possível cadastrá-la a partir da opção **Cadastrar Cidades**  (localizada ao lado do campo cidade). Ao clicar nessa opção, será apresentada a tela de cadastro de cidades;

- Seleção do **Endereço** do imóvel, a partir da opção **Pesquisar Endereços**  (localizada ao lado do campo endereço). Ao clicar nessa opção, é apresentada a tela de seleção do endereço. Caso o endereço do imóvel não esteja cadastrado no banco de dados, é possível cadastrá-lo a partir da opção **Cadastrar Endereços**  (localizada ao lado do campo endereço). Ao clicar nessa opção, será apresentada a tela de cadastro de endereços;
- Seleção do **Bairro** onde o imóvel está localizado, a partir da opção **Pesquisar Bairros**  (localizada ao lado do campo bairro). Ao clicar nessa opção, é apresentada a tela de seleção do bairro. Caso o bairro do imóvel não esteja cadastrado no banco de dados, é possível cadastrá-lo a partir da opção **Cadastrar Bairros**  (localizada ao lado do campo bairro). Ao clicar nessa opção, será apresentada a tela de cadastro de bairros;
- Seleção do **Proprietário** do imóvel, a partir da opção **Pesquisar Proprietário**  (localizada ao lado do campo proprietário). Ao clicar nessa opção, é apresentada a tela de seleção do Proprietário. Caso o proprietário do imóvel não esteja cadastrado no banco de dados, é possível cadastrá-lo a partir da opção **Cadastrar Proprietários**  (localizada ao lado do campo imóvel). Ao clicar nessa opção, será apresentada a tela de cadastro de proprietários;
- **Complemento** do imóvel contempla o máximo de 60 caracteres alfanuméricos; indica o tipo de moradia ou propriedade e não há um padrão para este tipo de dado;
- O **Número** do imóvel indica a numeração regional que possa vir a ocorrer;
- O **código** do imóvel será automaticamente gerado pelo sistema.

Após o preenchimento de todos os dados, a confirmação de cadastro é realizada pela opção **Salvar** . Caso deseje cancelar o cadastramento, deve-se acessar a opção **Cancelar** . A atualização pode ser realizada, inicialmente, pela consulta aos dados cadastrados, por meio da opção **Pesquisar**  e após realizada a alteração desejada, deve-se confirmar a alteração pela opção **Alterar** . A exclusão pode ser realizada pela opção **Excluir**  e só poderá ser excluído um registro quando esse não estiver relacionado a outra tabela do banco de dados.

The screenshot shows a software window titled 'Imóvel'. At the top, there is a 'Comandos' (Commands) bar with icons for search, add, delete, and other actions. Below this is a 'Dados' (Data) section with several input fields:

- Código**: Empty field.
- Nome**: 'IMÓVEL RURAL'.
- INCR**: '23423'.
- NRF**: '234234'.
- Cidades**: 'MEDIANEIRA - PARANÁ' with a search icon and a plus icon.
- Endereço**: 'AVENIDA BRASIL' with a search icon and a plus icon.
- Bairro**: 'FLOR DA SERRA' with a search icon and a plus icon.
- Proprietário**: 'PROPRIETARIO PADRÃO' with a search icon and a plus icon.
- Complemento**: 'RURAL'.
- Número**: '115'.

At the bottom, there is a table titled 'Imóveis' with the following data:

Código	Nome	Incr	NRF	Endereço	Número	Bairro	Município	Propriet...	Comple...
1	IMÓVE... ..	1	1	AVENIDA...	1	CENTRO	CURITIB...	PROPRIE...	COMPLE...
7	Imovel 1	1	1	AVENIDA...	1	CENTRO	CURITIB...	PROPRIE...	a
8	IMOVE... ..	42	234	AVENIDA...	343	CENTRO	MEDIAN...	PROPRIE...	7878

Figura 6 - Gerenciamento de Imóveis.

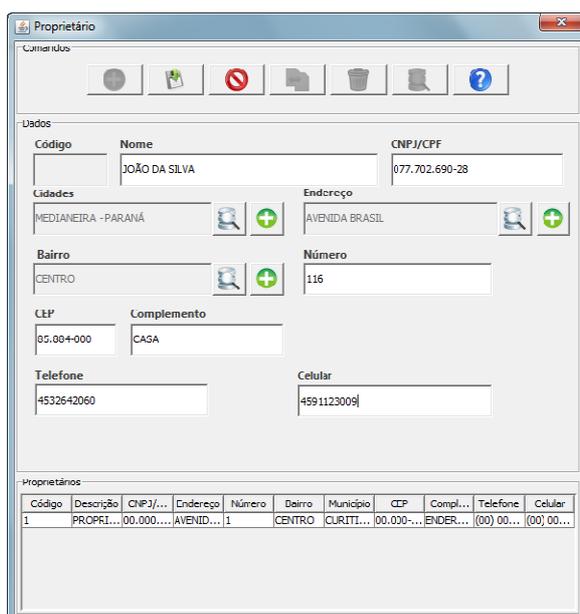
## 1.5 GERENCIAR PROPRIETÁRIOS

Ao clicar na opção do menu **Gerenciar Proprietários**, é apresentada a tela de gerenciamento de proprietários (Figura 7). Para cadastrar um novo proprietário, é necessário acessar a opção **Inserir**  e informar alguns dados do proprietário:

- **Nome** do proprietário, contemplando o máximo de 60 caracteres alfanuméricos;
- **CNPJ/CPF** do proprietário contempla o máximo de 18 caracteres alfanuméricos, compreende o Cadastro de Pessoa Jurídica ou Física;
- Seleção da **Cidade** em que o proprietário reside pela opção **Pesquisar Cidades**  (localizada ao lado do campo cidade). Ao clicar nessa opção é apresentada a tela de seleção da cidade. Caso a cidade em que o proprietário reside não esteja cadastrada no banco de dados, é possível cadastrá-la a partir da opção **Cadastrar Cidades**  (localizada ao lado do campo cidade). Ao clicar nessa opção, será apresentada a tela de cadastro de cidades;
- Seleção do **Endereço** do proprietário, através da opção **Pesquisar Endereços**  (localizada ao lado do campo endereço). Ao clicar nessa opção é apresentada a tela de seleção do endereço. Caso o endereço do proprietário não esteja cadastrado no banco de dados, é possível cadastrá-lo a partir da opção **Cadastrar Endereços**  (localizada ao lado do campo endereço). Ao clicar nesta opção, será apresentada a tela de cadastro de endereços;

- Seleção do **Bairro** onde o proprietário reside, a partir da opção **Pesquisar Bairros**  (localizada ao lado do campo bairro). Ao clicar nessa opção, é apresentada a tela de seleção do bairro. Caso o bairro em que o proprietário reside não esteja cadastrado no banco de dados, é possível cadastrá-lo a partir da opção **Cadastrar Bairros**  (localizada ao lado do campo bairro). Ao clicar nesta opção, será apresentada a tela de cadastro de bairros;
- O **Número** do imóvel indica a numeração regional que possa vir a ocorrer;
- **CEP** compreende o Código de Endereço Postal do local em que o proprietário reside;
- **Complemento** contempla o máximo de 60 caracteres alfanuméricos; indica o tipo de moradia ou propriedade e não há um padrão para este tipo de dado;
- DDD e Número do **telefone** do proprietário;
- DDD e Número do telefone **celular** do proprietário;
- O **código** do proprietário será automaticamente gerado pelo sistema.

Após o preenchimento de todos os dados, a confirmação de cadastro é realizada pela opção **Salvar** . Caso deseje cancelar o cadastramento, deve-se acessar a opção **Cancelar** . A atualização pode ser realizada ao consultarem inicialmente os dados cadastrados, pela opção **Pesquisar**  e após realizada a alteração desejada, deve-se confirmar a alteração pela opção **Alterar** . A exclusão pode ser realizada pela opção **Excluir**  e só poderá ser excluído um registro quando esse não estiver relacionado a outra tabela do banco de dados.



**Proprietário**

Comandos:       

**Dados**

Código: \_\_\_\_\_ Nome: JOÃO DA SILVA CNPJ/CPF: 077.702.690-28

Cidades: MEDIANEIRA - PARANÁ Endereço: AVENIDA BRASIL

Bairro: CENTRO Número: 116

CEP: 05.004-000 Complemento: CASA

Telefone: 4532642060 Celular: 4591123009

**Proprietários**

Código	Descrição	CNPJ/...	Endereço	Número	Bairro	Município	CEP	Compl...	Telefone	Celular
1	PROPRI...	00.000...	AVENID...	1	CENTRO	CURITI...	00.030...	ENDER...	(00) 00...	(00) 00...

Figura 7 - Gerenciamento de Proprietários.

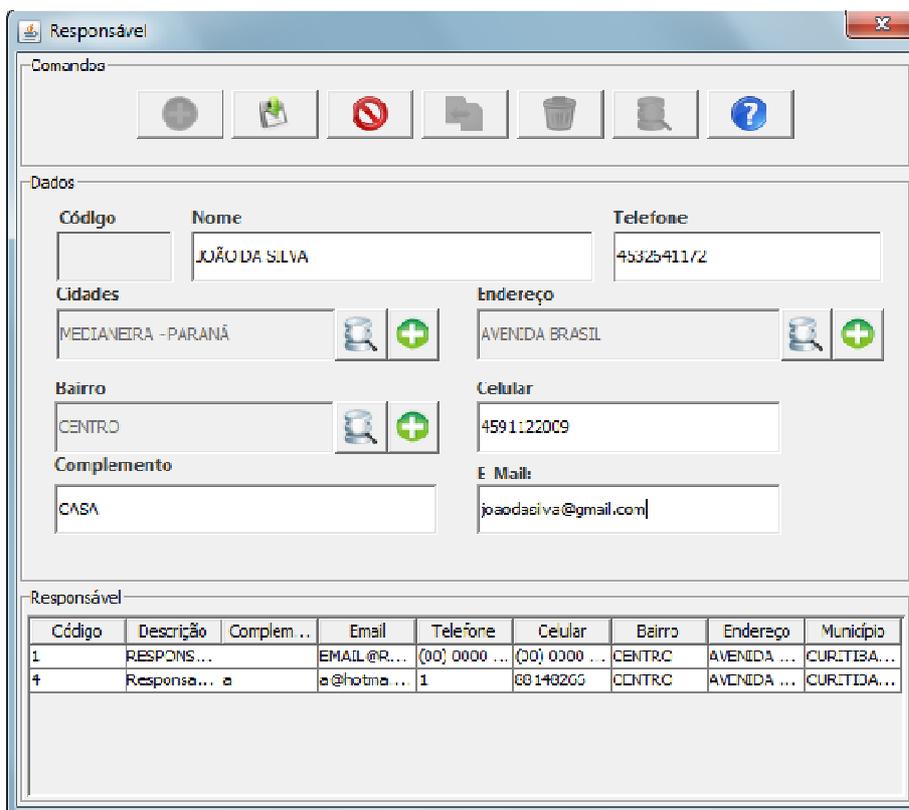
## 1.6 GERENCIAR RESPONSÁVEIS

Ao clicar na opção do menu **Gerenciar Responsáveis**, é apresentada a tela de gerenciamento de responsáveis (Figura 8). Para cadastrar um novo responsável, é necessário acessar a opção **Inserir**  e informar alguns dados do responsável:

- **Nome** do responsável contempla o máximo de 60 caracteres alfanuméricos;
- DDD e Número do **telefone** do responsável;
- Seleção da **Cidade** em que o responsável reside a partir da opção **Pesquisar Cidades**  (localizada ao lado do campo cidade). Ao clicar nesta opção, é apresentada a tela de seleção da cidade. Caso a cidade em que o responsável reside não esteja cadastrada no banco de dados, é possível cadastrá-la a partir da opção **Cadastrar Cidades**  (localizada ao lado do campo cidades). Ao clicar nessa opção, será apresentada a tela de cadastro de cidades;
- Seleção do **Endereço** do responsável, a partir da opção **Pesquisar Endereços**  (localizada ao lado do campo endereço). Ao clicar nessa opção, é apresentada a tela de seleção do endereço. Caso o endereço do responsável não esteja cadastrado no banco de dados, é possível cadastrá-lo a partir da opção **Cadastrar Endereços**  (localizada ao lado do campo endereço). Ao clicar nessa opção, será apresentada a tela de cadastro de endereços;
- Seleção do **Bairro** onde o responsável reside a partir da opção **Pesquisar Bairros**  (localizada ao lado do campo bairros). Ao clicar nessa opção, é apresentada a tela de seleção do bairro. Caso o bairro em que o responsável reside não esteja cadastrado no banco de dados, é possível cadastrá-lo a partir da opção **Cadastrar Bairros**  (localizada ao lado do campo bairro). Ao clicar nesta opção, será apresentada a tela de cadastro de bairros;
- Número e DDD do telefone **celular** do responsável;
- **Complemento** contempla o máximo de 60 caracteres alfanuméricos; indica o tipo de moradia ou propriedade e não há um padrão para esse tipo de dado;
- **E-Mail**, Endereço de e-mail do responsável;
- O **código** do responsável será automaticamente gerado pelo sistema.

Após o preenchimento de todos os dados, a confirmação de cadastro é realizada pela opção **Salvar** . Caso deseje cancelar o cadastramento, deve-se acessar a opção **Cancelar** . A atualização pode ser realizada, inicialmente, pela consulta dos dados cadastrados, pela opção **Pesquisar**  e após realizada a alteração desejada, deve-se confirmar a alteração pela opção **Alterar** . A exclusão pode ser realizada pela opção

**Excluir**  e só poderá ser excluído um registro quando esse não estiver relacionado a outra tabela do banco de dados.



The screenshot shows a window titled 'Responsável' with a toolbar at the top containing icons for search, add, delete, print, refresh, and help. Below the toolbar is a form with the following fields:

- Código:** (empty)
- Nome:** JOÃO DA SILVA
- Telefone:** 45325411/2
- Cidades:** MEDIANEIRA - PARANÁ
- Endereço:** AVENIDA BRASIL
- Bairro:** CENTRO
- Celular:** 4591122009
- Complemento:** CASA
- E Mail:** joaodasilva@gmail.com

At the bottom of the window is a table with the following data:

Código	Descrição	Complem...	Email	Telefone	Celular	Bairro	Endereço	Município
1	RESPONS...		EMAIL@R...	(00) 0000 ...	(00) 0000 ...	CENTRC	AVENIDA ...	CURITIBA...
†	Responso... a		a@hotmail...	1	88148266	CENTRC	AVENIDA ...	CURITIDA...

Figura 8 - Gerenciamento de Responsáveis.

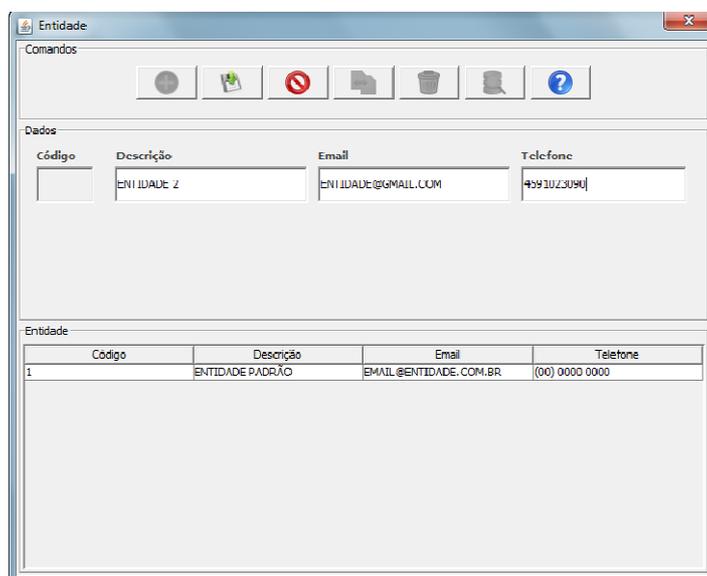
## 1.7 GERENCIAR ENTIDADES

A Entidade corresponde a uma empresa, órgão ou pesquisador de referência sobre classificações de atributos como Mg, Ca, Mn, etc, em forma tabelada. Ao clicar na opção do menu **Gerenciar Entidades**, é apresentada a tela de gerenciamento de entidades (Figura 9). Para cadastrar uma nova entidade, é necessário acessar a opção **Inserir**  e informar alguns dados da entidade:

- **Descrição** da entidade contempla o máximo de 60 caracteres alfanuméricos;
- Endereço de **e-mail** da entidade;
- Número e DDD do **telefone** da entidade;
- O **código** da entidade será gerado automaticamente pelo sistema.

Após o preenchimento, a confirmação de cadastro é realizada pela opção **Salvar** . Caso deseje cancelar o cadastramento, deve-se acessar a opção **Cancelar** . A

atualização pode ser realizada, inicialmente, pela consulta dos dados cadastrados na opção **Pesquisar**  e após realizada a alteração desejada, deve-se confirmar a alteração pela opção **Alterar** . A exclusão pode ser realizada pela opção **Excluir**  e só poderá ser excluído um registro quando esse não estiver relacionado com outra tabela do banco de dados.



Código	Descrição	Email	Telefone
1	ENTIDADE PADRÃO	EMAIL@ENTIDADE.COM.BR	(00) 0000 0000

Figura 9 - Gerenciamento de Entidades.

## 1.8 GERENCIAR TIPO DE ATRIBUTOS

Ao clicar na opção do menu **Gerenciar Tipo Atributos**, é apresentada a tela de gerenciamento de atributos, os quais podem ser químicos, físicos ou biológicos (Figura 10). Para cadastrar um novo tipo atributo, é necessário acessar a opção **Inserir**  e informar alguns dados do atributo:

- **Descrição** do atributo contempla o máximo de 60 caracteres alfanuméricos;
- **Sigla** do atributo contempla o máximo de 10 caracteres alfanuméricos;
- O **código** do atributo será automaticamente gerado pelo sistema.

Após o preenchimento, a confirmação de cadastro é realizada pela opção **Salvar** . Caso deseje cancelar o cadastramento, deve-se acessar a opção **Cancelar** . A atualização pode ser realizada, inicialmente, pela consulta dos dados cadastrados, na opção **Pesquisar**  e após realizada a alteração desejada, deve-se confirmar a alteração pela opção **Alterar** . A exclusão pode ser realizada pela opção **Excluir**  e só poderá ser excluído um registro quando esse não estiver relacionado a outra tabela do banco de dados.

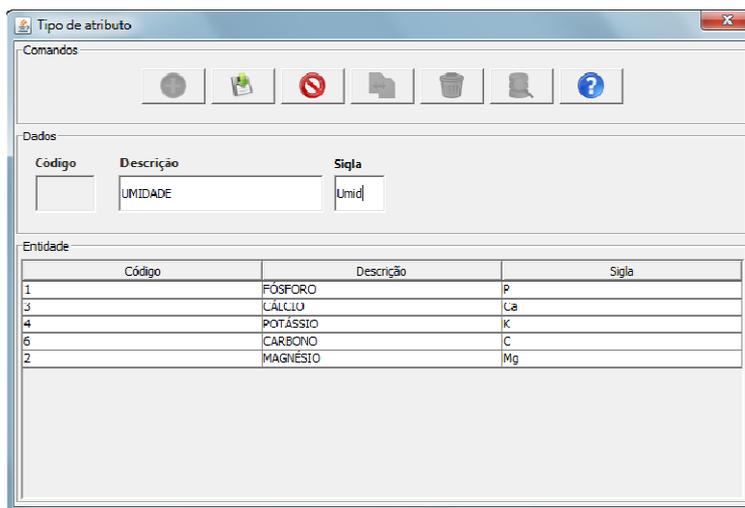


Figura 10 - Gerenciamento de Tipo de Atributos.

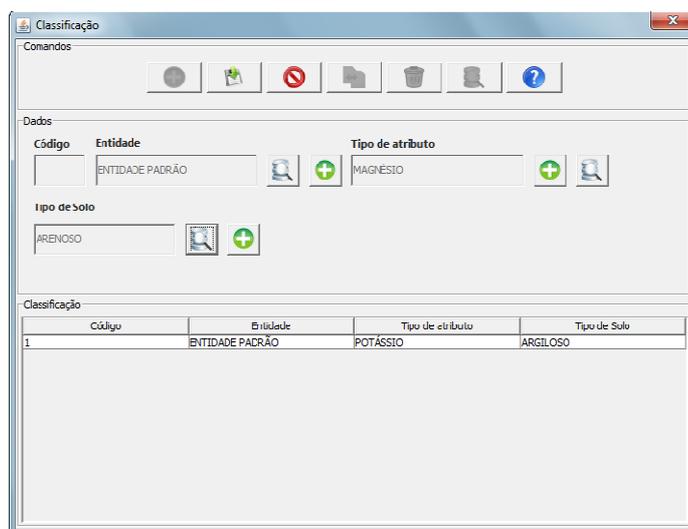
## 1.9 GERENCIAR CLASSIFICAÇÕES

Ao clicar na opção do menu **Gerenciar Classificações**, é apresentada a tela de gerenciamento de classificações (Figura 11), as quais correspondem às sugeridas por entidades de pesquisa para determinados atributos. Para cadastrar uma nova classificação, é necessário acessar a opção **Inserir**  e informar alguns dados da classificação:

- Seleção da **Entidade** da classificação, a partir da opção **Pesquisar Entidades**  (localizada ao lado do campo entidade). Ao clicar nesta opção, é apresentada a tela de seleção de entidades. Caso a entidade não esteja cadastrada no banco de dados, é possível cadastrá-la a partir da opção **Cadastrar Entidades**  (localizada ao lado do campo entidade). Ao clicar nessa opção, será apresentada a tela de cadastro de entidades;
- Seleção do **Tipo de Atributo** da classificação, a partir da opção **Pesquisar Atributos**  (localizada ao lado do campo tipo de atributo). Ao clicar nessa opção, é apresentada a tela de seleção de tipo de atributos. Caso o atributo não esteja cadastrado no banco de dados, é possível cadastrá-lo pela opção **Cadastrar Tipo de Atributos**  (localizada ao lado do campo tipo de atributo). Ao clicar nessa opção, será apresentada a tela de cadastro de atributos;
- Seleção do **Tipo de Solo** da classificação, a partir da opção **Pesquisar Tipos de solo**  (localizada ao lado do campo tipo de solo). Ao clicar nessa opção, é apresentada a tela de seleção de tipo de solos. Caso o tipo de solo não esteja cadastrado no banco de dados, é possível cadastrá-lo pela opção **Cadastrar Tipo de Solos**  (localizada ao lado do campo tipo de solo). Ao clicar nessa opção, será apresentada a tela de cadastro de tipos de solo.

- O **código** da classificação será automaticamente gerado pelo sistema.

Após o preenchimento, a confirmação de cadastro é realizada pela opção **Salvar** . Caso deseje cancelar o cadastramento, deve-se acessar a opção **Cancelar** . A atualização pode ser realizada, inicialmente, pela consulta dos dados cadastrados, pela opção **Pesquisar**  e após realizada a alteração desejada, deve-se confirmar a alteração pela opção **Alterar** . A exclusão pode ser realizada pela opção **Excluir**  e só poderá ser excluído um registro quando esse não estiver relacionado a outra tabela do banco de dados.



The screenshot shows a window titled 'Classificação' with a 'Comandos' toolbar at the top containing icons for Save, Cancel, Search, Edit, Delete, and Help. Below the toolbar is a 'Dados' section with input fields for 'Código', 'Entidade' (containing 'ENTIDADE PADRÃO'), 'Tipo de atributo' (containing 'MAGNESIO'), and 'Tipo de Solo' (containing 'ARENOSO'). Each field has a search icon and a plus sign icon. At the bottom, there is a table with the following data:

Código	Entidade	Tipo de atributo	Tipo de Solo
1	ENTIDADE PADRÃO	POTÁSSIO	ARGILOSO

Figura 11 - Gerenciamento de Classificações.

## 1.10 GERENCIAR CORES

Ao clicar na opção do menu **Gerenciar Cores**, é apresentada a tela de gerenciamento de cores (Figura 12) que permite definir cores padrões para os mapas gerados. Para cadastrar uma nova cor, é necessário acessar a opção **Inserir**  e selecionar a **cor** desejada da classificação (Figura 13). O **código** da cor será automaticamente gerado pelo sistema.

Após o preenchimento, a confirmação de cadastro é realizada pela opção **Salvar** . Caso deseje cancelar o cadastramento, deve-se acessar a opção **Cancelar** . A atualização pode ser realizada, inicialmente, pela consulta dos dados cadastrados, a partir da opção **Pesquisar**  e após realizada a alteração desejada, deve-se confirmar a alteração pela opção **Alterar** . A exclusão pode ser realizada pela opção **Excluir**  e só poderá ser excluído um registro quando esse não estiver relacionado a outra tabela do banco de dados.

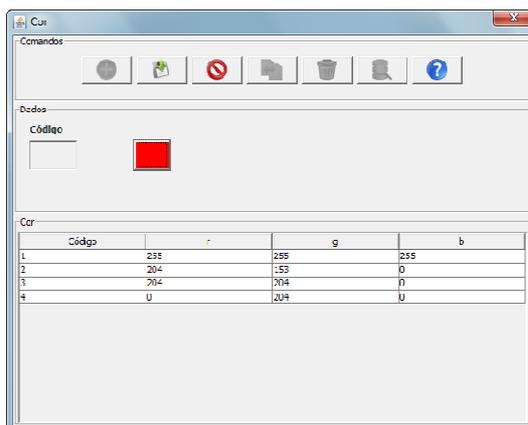


Figura 12 - Gerenciamento de Cores.

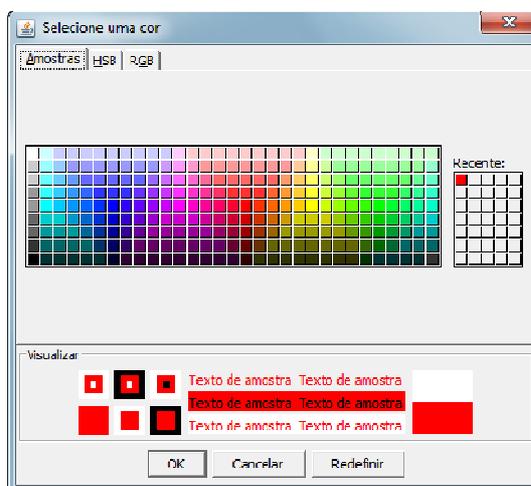


Figura 13 - Seleção de cores.

### 1.11 GERENCIAR CLASSES

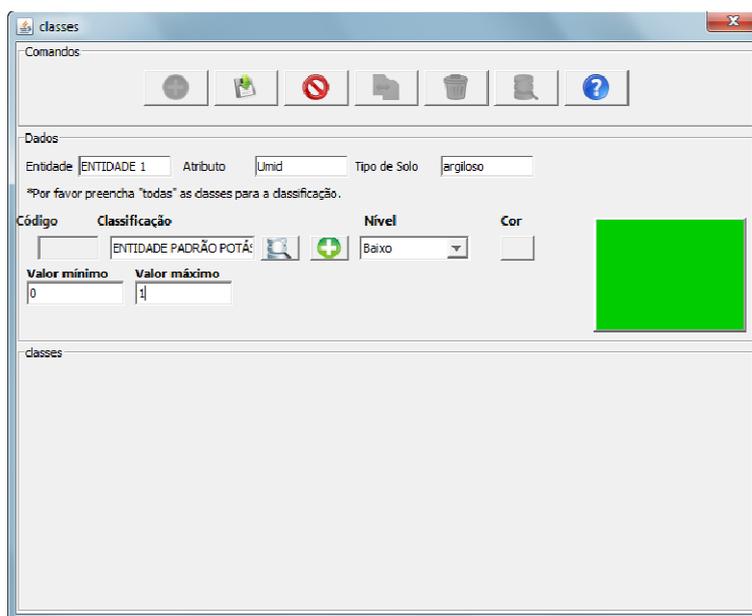
Ao clicar na opção do menu **Gerenciar Classes**, é apresentada a tela de gerenciamento de classes (Figura 14), onde são adicionadas classes a uma classificação. Para cadastrar uma nova classe, é necessário acessar a opção **Inserir**  e informar alguns dados da classe:

- **Entidade** da classe, contemplando o máximo de 60 caracteres alfanuméricos;
- **Atributo** da classe, contemplando o máximo de 60 caracteres alfanuméricos;
- **Tipo de solo** da classe, contemplando o máximo de 60 caracteres alfanuméricos;
- Seleção da **classificação**, a partir da opção **Pesquisar Classificações**  (localizada ao lado do campo classificação). Ao clicar nessa opção, é apresentada a tela de seleção de classificações. Caso a classificação não esteja cadastrada no banco de dados, é possível cadastrá-la a partir da opção

**Cadastrar Classificações**  (localizada ao lado do classificação). Ao clicar nessa opção, será apresentada a tela de cadastro de Classificações;

- Seleção do **nível** - podem ser selecionados os níveis Muito baixo, Baixo, Médio, Alto e Muito Alto.
- Seleção da **cor** da classe;
- Valor **mínimo** da classe;
- Valor **máximo** da classe;
- O **código** da classe será automaticamente gerado pelo sistema.

Após o preenchimento, a confirmação de cadastro é realizada pela opção **Salvar** . Caso deseje cancelar o cadastramento, deve-se acessar a opção **Cancelar** . A atualização pode ser realizada, inicialmente, pela consulta dos dados cadastrados, a partir da opção **Pesquisar**  e após realizada a alteração desejada, deve-se confirmar a alteração pela opção **Alterar** . A exclusão pode ser realizada pela opção **Excluir**  e só poderá ser excluído um registro quando esse não estiver relacionado a outra tabela do banco de dados.



The screenshot shows a software window titled 'classes'. It features a toolbar with icons for search, add, cancel, update, delete, and help. Below the toolbar is a 'Dados' section with the following fields and controls:

- Entidade:** ENTIDADE 1
- Atributo:** Umid
- Tipo de Solo:** argiloso
- Nota:** \*Por favor preencha "todas" as classes para a classificação.
- Código:** [Empty field]
- Classificação:** ENTIDADE PADRÃO POTÁ;  
- Nível:** Baixo (dropdown menu)
- Cor:** [Green color swatch]
- Valor mínimo:** 0
- Valor máximo:** 1

At the bottom of the window, there is a section labeled 'classes' which is currently empty.

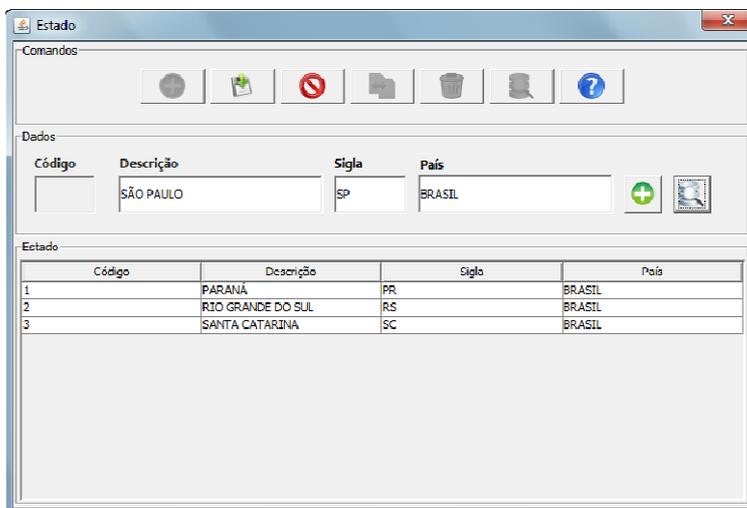
Figura 14 – Gerenciamento de Classes.

## 1.12 GERENCIAR ESTADOS

Ao clicar na opção do menu **Gerenciar Estados**, é apresentada a tela de gerenciamento de Estados (Figura 15). Para cadastrar um novo Estado, é necessário acessar a opção **Inserir**  e informar alguns dados do estado:

- **Nome/Descrição** do estado, contemplando o máximo de 60 caracteres alfanuméricos;
- Sigla do **estado**, contemplando o máximo de 2 caracteres alfanuméricos;
- Seleção do **País** onde o Estado está localizado, a partir da opção **Pesquisar Países**  (localizada ao lado do campo País). Ao clicar nessa opção, é apresentada a tela de seleção do país. Caso o País do Estado não esteja cadastrado no banco de dados, é possível cadastrá-lo a partir da opção **Cadastrar Países**  (localizada ao lado do campo Países). Ao clicar nessa opção, será apresentada a tela de cadastro de país.
- O **código** do Estado será automaticamente gerado pelo sistema.

Após o preenchimento de todos os dados, a confirmação de cadastro é realizada pela opção **Salvar** . Caso deseje cancelar o cadastramento, deve-se acessar a opção **Cancelar** . A atualização pode ser realizada, inicialmente, pela consulta dos dados cadastrados, a partir da opção **Pesquisar**  e após realizada a alteração desejada, deve-se confirmar a alteração pela opção **Alterar** . A exclusão pode ser realizada pela opção **Excluir**  e só poderá ser excluído um registro quando esse não estiver relacionado a outra tabela do banco de dados.



	Código	Descrição	Sigla	País
1		PARANÁ	PR	BRASIL
2		RIO GRANDE DO SUL	RS	BRASIL
3		SANTA CATARINA	SC	BRASIL

Figura 15 - Gerenciamento de Estados.

### 1.13 GERENCIAR PAÍSES

Ao clicar na opção do menu **Gerenciar Países**, é apresentada a tela de gerenciamento de países (Figura 16). Para cadastrar um novo país, é necessário acessar a opção **Inserir**  e informar alguns dados do país:

- **Nome/Descrição** do estado, contemplando o máximo de 60 caracteres alfanuméricos;
- Sigla do **país**, contemplando o máximo de 6 caracteres alfanuméricos;
- O **código** do país será automaticamente gerado pelo sistema.

Após o preenchimento de todos os dados, a confirmação de cadastro é realizada pela opção **Salvar** . Caso deseje cancelar o cadastramento, deve-se acessar a opção **Cancelar** . A atualização pode ser realizada, inicialmente, pela consulta dos dados cadastrados, a partir da opção **Pesquisar**  e após realizada a alteração desejada, deve-se confirmar a alteração pela opção **Alterar** . A exclusão pode ser realizada pela opção **Excluir**  e só poderá ser excluído um registro quando esse não estiver relacionado com outra tabela do banco de dados.

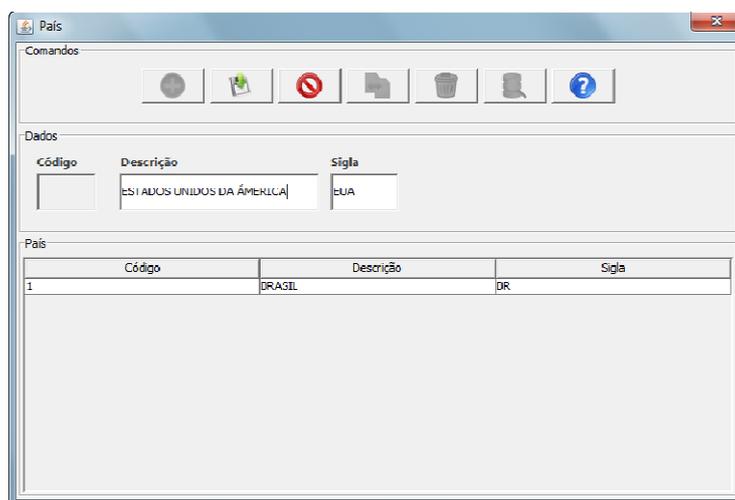


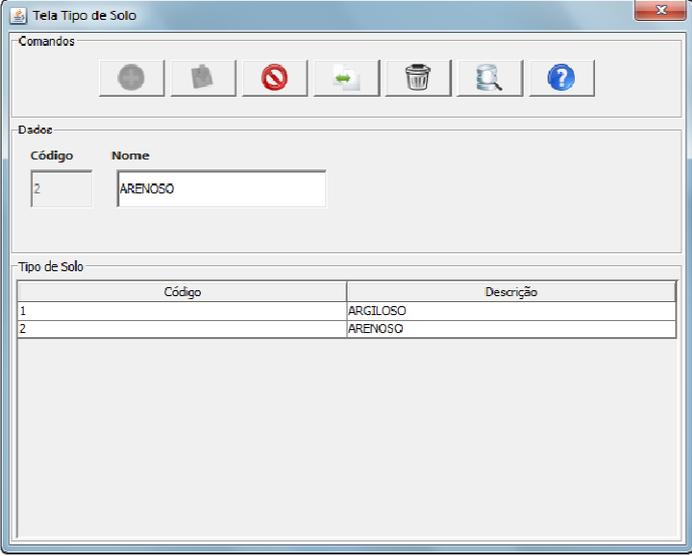
Figura16 - Gerenciamento de Países.

#### 1.14 GERENCIAR TIPOS DE SOLO

Ao clicar na opção do menu **Gerenciar Tipos de Solo**, é apresentada a tela de gerenciamento de tipos de solo (Figura 17). Para cadastrar um novo tipo de solo, é necessário acessar a opção **Inserir**  e informar o **nome/descrição** do solo, contemplando o máximo de 60 caracteres alfanuméricos. O **código** do tipo de solo será automaticamente gerado pelo sistema.

Após o preenchimento de todos os dados, a confirmação de cadastro é realizada pela opção **Salvar** . Caso deseje cancelar o cadastramento, deve-se acessar a opção **Cancelar** . A atualização pode ser realizada, inicialmente, pela consulta dos dados cadastrados, a partir da opção **Pesquisar**  e após realizada a alteração desejada, deve-se

confirmar a alteração pela opção **Alterar** . A exclusão pode ser realizada pela opção **Excluir**  e só poderá ser excluído um registro quando esse não estiver relacionado com outra tabela do banco de dados.



Tela Tipo de Solo

Comandos

Dados

Código Nome

2 ARENOSO

Tipo de Solo

Código	Descrição
1	ARGILOSO
2	ARENOSO

Figura 17 - Gerenciamento de Tipos de Solo.

## APÊNDICE IV

### MÓDULO DE INTERPOLAÇÃO DE DADOS

Os mapas temáticos podem ser gerados e visualizados pelo menu 'Interpolação' ou pelos botões de atalho (Figura 1) na tela principal do software.



Figura 1 - Botões de atalho para geração e visualização de mapas temáticos

Este módulo contempla as seguintes funcionalidades:

- **Interpolação** Gerar mapas temáticos;
-  Visualizar mapas temáticos.

#### 1.1 GERAÇÃO DE MAPAS TEMÁTICOS

A funcionalidade de geração de mapas temáticos corresponde à geração de uma superfície contínua formada de *pixels* de tamanho configurável, em que o valor de cada *pixel* é interpolado em função de uma grade amostral. Os interpoladores disponíveis no software são:

- Inverso da distância elevado a uma potência (IDP, Equação 1);
- Média móvel (MV, Equação 2);
- Vizinho mais próximo (VMP).

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n \left( \frac{Z_i}{D_i^p} \right)}{\sum_{i=1}^n \left( \frac{1}{D_i^p} \right)} \quad (1)$$

em que: Z corresponde ao valor do atributo Z para o ponto a ser interpolado;  $Z_i$  é o valor de Z referente ao vizinho i;  $D_i$  é a distância entre o ponto a ser interpolado (Z) e o dado amostrado; e p corresponde à potência que se deseja utilizar.

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n (Z_i)}{n} \quad (2)$$

em que: Z corresponde ao valor do atributo Z para ponto a ser interpolado;  $Z_i$  é o valor de Z referente ao vizinho i; n é o número de elementos amostrais, utilizado para interpolação.

A interpolação IDP é baseada no pressuposto de existência de correlação espacial positiva e a potência é utilizada para atenuar a influência dos pontos distantes. Para realizar a interpolação pelo método VMP, pode-se utilizar o interpolador IDP, com limitados parâmetros de distância, assim como potência  $P = 1$  e número de elementos  $n = 1$ . O algoritmo VMP corresponde ao método mais simples de interpolação, tendo como principal característica assegurar que o valor interpolado seja um dos valores originais. Como se pode perceber, este interpolador não gera novos valores para variável Z, sendo indicado para se trabalhar com dados qualitativos.

Como os interpoladores IDP e MM devem ser ajustados conforme a necessidade do usuário, o software permite a configuração dos parâmetros referentes à potência (P) (somente para o IDP), distância máxima e/ou número de elementos amostrais utilizados na interpolação. Além disso, será permitido ao usuário configurar o tamanho de pixel a ser utilizado para geração do mapa temático.

Ao clicar na opção de interpolação **Interpolação**, é apresentada a tela para seleção da área (Figura 2) em que se deseja interpolar os dados amostrais. São apresentadas as áreas previamente cadastradas, com a possibilidade de seleção por consulta específica a partir da opção 'buscar'. Foram implementados filtros de busca por nome/descrição da área (o usuário pode digitar o nome completo ou parte da área); tamanho (em ha) e tipo de solo. Os filtros são executados de modo independente, portanto, não há a opção de retorno por mais de um filtro.

Após ter selecionada a área desejada, é preciso clicar na opção '**próximo**' (seta para a direita) para ir para a tela de seleção da amostra que se deseja interpolar (Figura 3). Da mesma forma, são apresentadas opções de busca por nome e tipo de atributo que se deseja interpolar. Feita a seleção, é preciso clicar na opção '**próximo**' (seta para a direita) para ir para a tela de seleção e configuração dos parâmetros do interpolador (Figura 4).

É solicitada ao usuário a definição do nome do mapa (grade) a ser gerada, sendo automaticamente gerada caso o usuário desejar. A opção **Usar Padrão** permite que o usuário utilize os padrões definidos anteriormente para interpolação de outras amostras. Caso deseje configurar ou alterar os parâmetros de interpolação, deve-se selecionar a opção **Definir Padrões**, a qual permite que o usuário defina os parâmetros e o tipo de interpolador desejado.

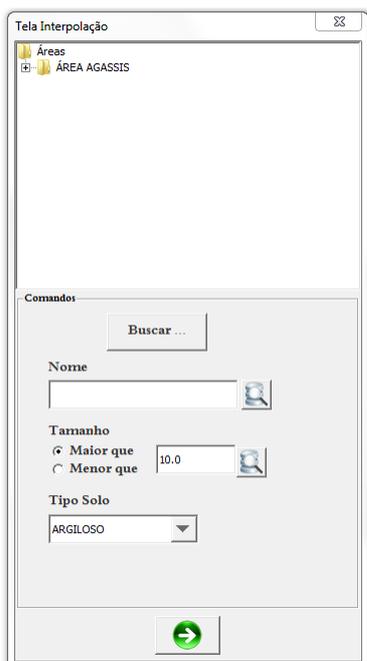


Figura 2 - Seleção da área amostral.

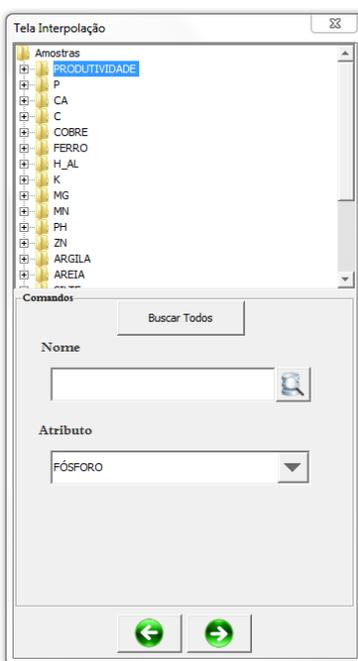


Figura 3 - Seleção da amostra.

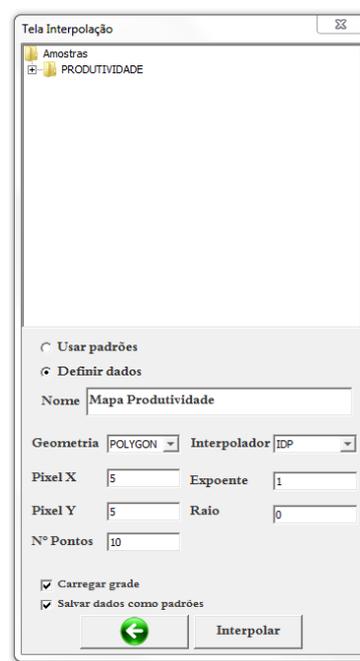


Figura 4 - Seleção do tipo e parâmetros do interpolador.

- **Geometria:** Permite que o usuário gere superfícies contínuas (*Polygon*) ou pontos (*Point*) para representação do mapa a ser gerado;
- **Interpolador:** Permite que seja selecionada a opção de interpolação: MM (Média Móvel), IDP (Inverso da Distância elevado a uma Potência), Vizinho mais próximo (VMP);
- **Pixel x:** corresponde ao tamanho em metros da distância entre o centro de um polígono e outro mais próximo ou entre dois pontos próximos (opção Vertical);
- **Pixel y:** corresponde ao tamanho em metros da distância entre o centro de um polígono e outro mais próximo ou entre dois pontos próximos (opção Horizontal);
- **Expoente:** valor do expoente do interpolador IDP e que permite dar prioridade ou maior importância para vizinhos mais próximos (quanto maior o expoente, maior a importância para os pontos amostrais mais próximos);
- **Raio:** Parâmetro de configuração para definir a distância para que sejam selecionadas amostras para interpolação de um *pixel*;
- **Número de Pontos:** é a opção de número de pontos mais próximos a serem considerados para interpolação. Neste caso, o parâmetro Raio deve ser configurado com o valor zero.

Após selecionado o tipo de interpolador e configurados os parâmetros, é preciso clicar na opção **interpolar** para realizar a interpolação dos dados. Após a interpolação, é

solicitado ao usuário se deseja criar outro mapa temático (Figura 5). Em caso de não haver esta necessidade, é apresentada a opção de definição de classes para apresentação do mapa temático.

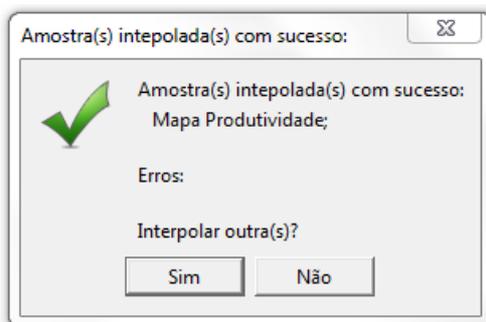


Figura 5 - Opção de interpolação de nova amostra.

## 1.2 VISUALIZAÇÃO DE MAPAS TEMÁTICOS

Ao clicar na opção **Visualizar mapas Temáticos** , é apresentada a opção de **seleção de grades interpoladas** (Figura 6). São apresentadas as grades interpoladas e são apresentados filtros de busca por nome (ou parte deste); Amostra; Tipo de Geometria (*Point* ou *Geometry*); Tipo de Interpolador; Tamanho de *pixel*; Raio; Número de pontos e Expoente.

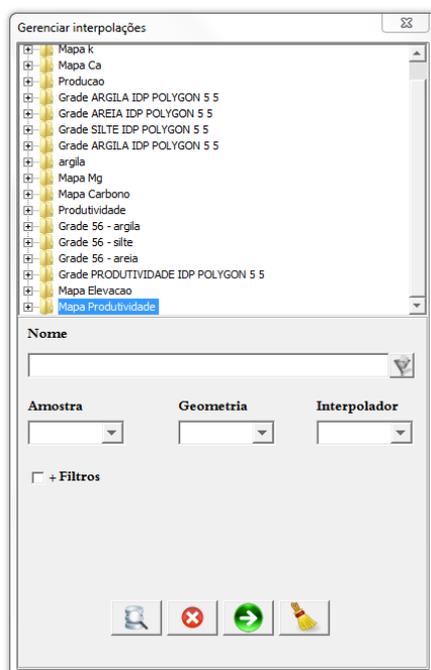


Figura 6 - Seleção e busca de grades interpoladas.

Selecionado o mapa a ser apresentado na tela, é apresentada a tela de classificação (*ranges*) (Figura 7), e podem ser selecionadas classificações previamente cadastradas pelo tipo de atributo, conforme algum órgão/Entidade de recomendação.

The screenshot shows a software window titled "Gerenciar interpolações". At the top, there is a dropdown menu labeled "Entidade Classificadora" with "ENTIDADE PADRÃO" selected. Below this, a red text label reads: "Valores segundo a classificação da 'ENTIDADE PADRÃO' Atributo: PRODUTIVIDADE e Tipo de Solo: ARGILOSO". The main area contains three rows of classification ranges, each with a "De:" field, an "Até:" field, and a color swatch:

De:	Até:	Color
0,48984	1,57574	Red
1,57575	2,66165	Yellow
2,66166	3,74755	Green

At the bottom right, there are two buttons: a green plus sign (+) and a red minus sign (-). At the bottom left, there are two navigation buttons: a green left arrow and a blue globe icon.

Figura 7 - Seleção de classificação para apresentação de mapas.

Ao clicar o botão **renderizar**  da tela de seleção de mapa temático (Figura 7), o mapa é apresentado na tela principal.

## APÊNDICE V

### MÓDULO DE DEFINIÇÃO DE UNIDADES DE MANEJO

A geração e a visualização de unidades de manejo podem ser realizadas pelo menu “Unidade de Manejo” ou pelo botão de atalho (Figura 1) disponível na tela principal do software.



Figura 1 - Atalho para geração e visualização de unidades de manejo

As opções disponíveis neste módulo correspondem a:

- **Zona Manejo** Geração de Unidade de Manejo, por meio das metodologias:
  - Normalização de Dados;
  - Padronização de Dados;
  - Algoritmo K-Means;
  - Algoritmo Fuzzy C-Means.
-  Visualização de Unidades de Manejo.

#### 1.1 METODOLOGIAS DE DEFINIÇÃO DE UNIDADES DE MANEJO

##### 1.1.1 NORMALIZAÇÃO DE DADOS

A metodologia de Normalização de dados, apresentada por Swindell (1977), visa eliminar a influência temporal dos dados referentes à produtividade de diversos anos pela Equação 1.

$$PN_{ij} = \frac{P_{ij}}{\bar{P}_j} \quad (1)$$

em que,  $PN_{ij}$  – Produtividade normalizada no ponto  $i$  no ano  $j$ ;  $P_{ij}$  - Produtividade original no ponto  $i$  no ano  $j$ ;  $\bar{P}_j$  – Produtividade média para o ano  $j$ .

Visando avaliar a consistência temporal, é realizado o cálculo do Coeficiente de Variação (CV) (Equação 2).

$$CV_i = \frac{S_i}{\bar{P}_i} * 100 \quad (2)$$

em que,  $CV_i$  - Coeficiente de variação da produtividade no ponto  $i$ ;  $S_i$  – Desvio padrão da produtividade para o ponto  $i$  em relação a todos os mapas normalizados utilizados;  $\bar{P}_i$  – Produtividade média para o ponto  $i$ .

Para a definição das unidades de manejo, foram utilizadas duas formas de classificação apresentadas por Molin (2002), sendo geradas até quatro (Tabela 1) ou até seis (Tabela 2) unidades de manejo.

Tabela 1 - Tabela de classificação (quatro classes) de unidades de manejo considerando a produtividade normalizada e o coeficiente de variação (MOLIN, 2002)

Classe	Descrição	Produtividade Normalizada	Coeficiente de Variação
1	Alta e consistente	>1,05	≤ 30%
2	Média e consistente	0,95 – 1,05	≤ 30%
3	Baixa e consistente	< 0,95	≤ 30%
4	Inconsistente	-	> 30%

Tabela 2 - Tabela de classificação (seis classes) de unidades de manejo considerando a produtividade normalizada e o coeficiente de variação (MOLIN, 2002)

Classe	Descrição	Produtividade Normalizada	Coeficiente de Variação
1	Alta e Consistente	> 1,05	≤ 30%
2	Média e Consistente	0,95 – 1,05	≤ 30%
3	Baixa e consistente	< 0,95	≤ 30%
4	Alta e Inconsistente	> 1,05	> 30%
5	Média e Inconsistente	0,95 – 1,05	> 30%
6	Baixa Inconsistente	< 0,95	> 30%

### 1.1.2 PADRONIZAÇÃO DE DADOS

Este método, apresentado por Larscheid & Blackmore (1996) e utilizado por Blackmore (2000), considera, além do valor do atributo utilizado (normalmente a produtividade), a média geral e o desvio padrão (Equação 3).

$$ZV_{ij} = \frac{P_{ij} - \bar{P}_j}{S_j} \quad (3)$$

em que,  $ZV_{ij}$ - produtividade padronizada no ponto  $i$  e no ano  $j$ ;  $P_{ij}$  – Produtividade no ponto  $i$  no ano  $j$ ;  $\bar{P}_j$ - Produtividade média no ano  $j$ ;  $S_j$  - Desvio padrão do produtividade no ano  $j$ .

O cálculo do coeficiente de variação é realizado em função dos conjuntos gerados a partir da produtividade padronizada equivalente (Equação 4) devido à impossibilidade de se

calcular o coeficiente de variação dos dados normalizados pelo método proposto, considerando a média zero. Não utilizam-se, neste caso, os conjuntos de dados padronizados, pois podem gerar valores acima da realidade.

$$ZVe_{ij} = ZV_{ij} \times \bar{S}_t + \bar{P}_t \quad (4)$$

em que,  $ZVe_{ij}$  corresponde à produtividade padronizada equivalente no ponto  $i$ , no ano  $j$ ;  $\bar{S}_t$  - média dos desvios padrão nos  $t$  anos;  $\bar{P}_t$  - média das observações médias dos  $t$  anos

A classificação, em até nove unidades de manejo, é gerada pelo software conforme a Tabela 3.

Tabela 3 - Tabela de classificação de unidades de manejo (MILANI et al., 2006)

Classe	Produtividade Padronizada	Coefficiente de Variação
1	< 33º percentil	< 10%
2	< 33º percentil	10% - 30%
3	< 33º percentil	> 30%
4	33º - 67º percentil	< 10%
5	33º - 67º percentil	10% - 30%
6	33º - 67º percentil	> 30%
7	> 67º percentil	< 10%
8	> 67º percentil	10% - 30%
9	> 67º percentil	> 30%

### 1.1.3 ALGORITMO K-MEANS:

O algoritmo de classificação K-Means tem a finalidade de agrupar objetos de atributos em  $K$  grupos. O agrupamento tem a finalidade de minimizar a soma dos quadrados das distâncias entre dados e os centróides correspondentes a cada agrupamento. O algoritmo funciona de maneira iterativa (Figura 2), visando adicionar o centróide de cada agrupamento o mais próximo possível dos dados a serem agrupados.

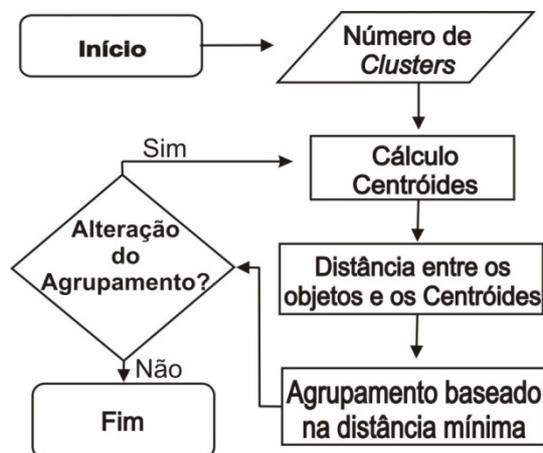


Figura 2 - Algoritmo K-Means.

Para execução deste algoritmo no software, são necessários os parâmetros de número de agrupamentos ( $k > 1$ ) e número máximo de iterações (quanto maior melhor o resultado do agrupamento, porém mais demorado é o processo).

### 1.1.3 ALGORITMO FUZZY C-MEANS

O método de clusterização Fuzzy C-Means diferencia-se do K-Means pela robustez incorporada ao método Fuzzy C-Means por ZADEH (1965), que introduziu a teoria da lógica Fuzzy ao algoritmo de divisão, sendo aprimorado por RUSPINI (1969) e considera que um conjunto de dados  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  onde  $x_k$  corresponde a um vetor de características  $x_k = \{x_{k1}, x_{k2}, \dots, x_{kp}\} \in R^p$  para todo  $k \in \{1, 2, \dots, n\}$ , sendo  $R^p$  o espaço  $p$ -dimensional. Busca-se encontrar uma pseudo-partição Fuzzy que corresponde a uma família de  $c$  conjuntos Fuzzy de  $X$ , que representa a estrutura dos dados da melhor forma possível e é denotado por  $P = \{A_1, A_2, \dots, A_c\}$ , que satisfaz  $\sum_{i=1}^c A_i(x_k) = 1$  e  $0 < \sum_{k=1}^n A_i(x_k) < n$ , em que  $K \in \{1, 2, \dots, n\}$ , e  $n$  representa o número de elementos de  $X$ .

O algoritmo se orienta com parâmetros referentes ao número de agrupamentos que se deseja ter ( $C$ ), uma medida de distância que define a distância permitida entre os pontos e os centróides ( $m \in (1, \infty)$ ) e um erro utilizado como critério de parada ( $\varepsilon > 0$ ). A pertinência inicial é atribuída aleatoriamente visando iniciar com valores quaisquer, bem como os  $C$  centros iniciais que não devem possuir os mesmos valores iniciais devido a problemas que podem ocorrer durante a execução do algoritmo (BEZDEK, 1981). O funcionamento do algoritmo corresponde ao apresentado na Figura 3.

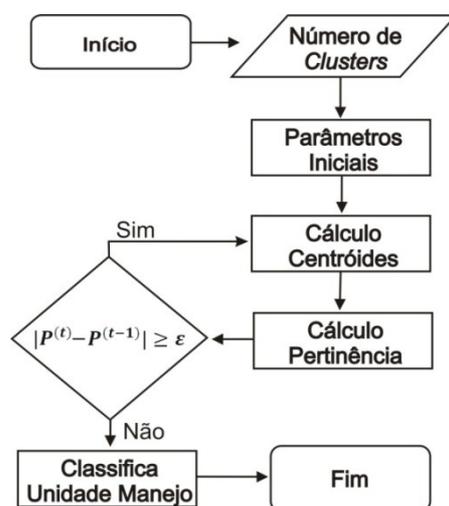


Figura 3 - Algoritmo Fuzzy C-Means.

A posição de cada centróide é calculada considerando a distância passada por parâmetro inicialmente. Para cada  $C$ , calcula-se  $v_1^{(t)}, \dots, v_c^{(t)}$  por (Equação 5) para a partição  $P^{(t)}$ , sendo a iteração  $t = \{1, 2, \dots, n\}$ . O vetor  $v_i$  corresponde ao centro do agrupamento  $A_i$  e é a média ponderada dos dados em  $A_i$ . O peso do dado  $x_k$  é a  $m$ -ésima potência do seu grau de pertinência ao conjunto Fuzzy  $A_i$ .

$$v_i = \frac{\sum_{k=1}^n [A_i(x_k)]^m x_k}{\sum_{k=1}^n [A_i(x_k)]^m} \quad (5)$$

O cálculo do grau de pertinência do elemento  $x_k$  à classe  $A_i$  (Equação 6) é realizado para cada  $x_k \in X$  e para todo  $i \in \{1, 2, \dots, c\}$ , se  $\|x_k - v_i^{(t)}\|^2 > 0$ .

$$A_i^{(t+1)}(x_k) = \left[ \sum_{j=1}^c \left( \frac{\|x_k - v_i^{(t)}\|^2}{\|x_k - v_j^{(t)}\|^2} \right)^{\frac{1}{m-1}} \right]^{-1} \quad (6)$$

em que,  $\|x_k - v_i^{(t)}\|^2$  representa a distância entre  $x_k$  e  $v_i$ .

Como critério de parada, compara-se  $P^{(t)}$  e  $P^{(t+1)}$ , sendo que, se  $|P^{(t)} - P^{(t+1)}| \leq \epsilon$  o algoritmo é finalizado e a classificação é realizada considerando a pertinência gerada na última iteração.

## 1.2 GERAÇÃO DE UNIDADES DE MANEJO

Ao se utilizar a opção de geração de unidade de manejo **Unidade de Manejo**, é possível a criação de unidades de manejo utilizando os métodos descritos. Inicialmente, se faz necessária a seleção da área que se deseja definir os agrupamentos (Figura 4). Após selecionada a área, é apresentada a tela de seleção de mapas temáticos (*layers*) que irão ser utilizados para realizar o agrupamento (Figura 5).

Nesta etapa de seleção, podem ser selecionados quantos mapas (*layers*) forem necessários, mas, para os métodos de Normalização e Padronização, são necessários pelo menos dois. Para os métodos K-Means e Fuzzy C-Means, há necessidade de um único mapa temático para que os algoritmos possam ser executados.

Após a seleção das *layers*, é apresentada a tela de seleção do método de geração de unidade de manejo (Normalizar, Padronizar, K-Means, Fuzzy C-Means) (Figura 6) e deve ser adicionado o nome da unidade de manejo a ser gerada.



Figura 4 - Seleção da Área.

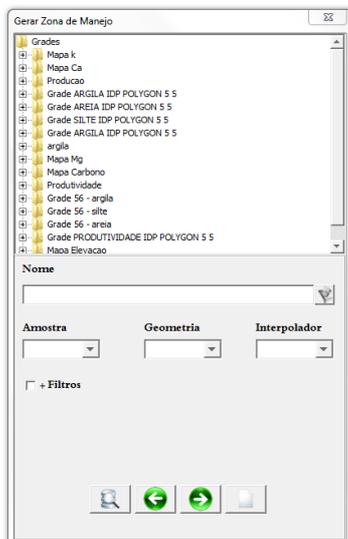


Figura 5 - Seleção de Mapas temáticos (*layers*).

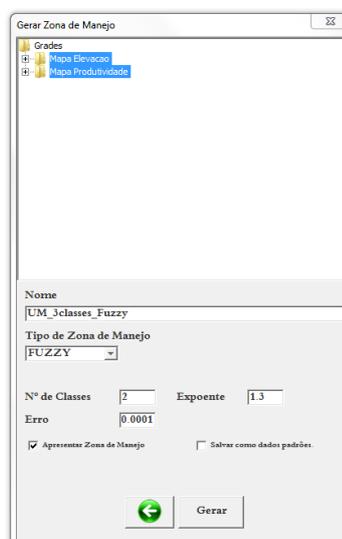


Figura 6 - Tela de Identificação, seleção do método de geração e configuração de parâmetros para geração de unidades de manejo.

### 1.3 VISUALIZAÇÃO DE UNIDADES DE MANEJO

A visualização de unidades de manejo é realizada por meio da opção “Visualizar UM” . Esta opção apresenta a tela de seleção das Unidades de Manejo que se deseja visualizar (Figura 7).

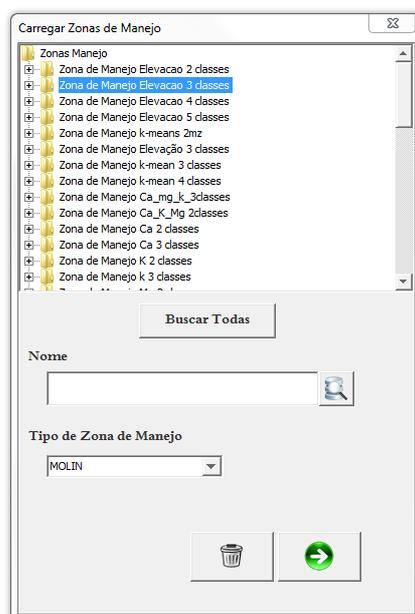


Figura 7 - Tela de seleção de unidades de manejo.

Selecionada a Unidade de Manejo que se deseja visualizar, a próxima etapa seleciona as cores que cada sub-região será representada (Figura 8). São apresentadas cores padrão, que podem ser alteradas pelo usuário.

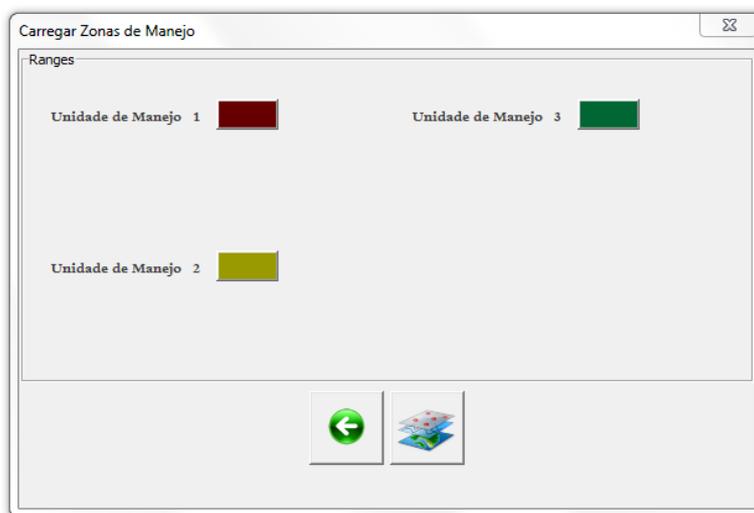


Figura 8 - Tela de configuração de cores para apresentação de unidades de manejo.

A apresentação do mapa temático é realizada na parte central da tela (Figura 9) e pode ser visualizada e as cores alteradas de acordo com a classificação apresentada. Na parte inferior direita, podem ser visualizados dados relativos aos metadados, como método de definição de unidades de manejo utilizado, número de classes, área e parâmetros utilizados nos algoritmos.

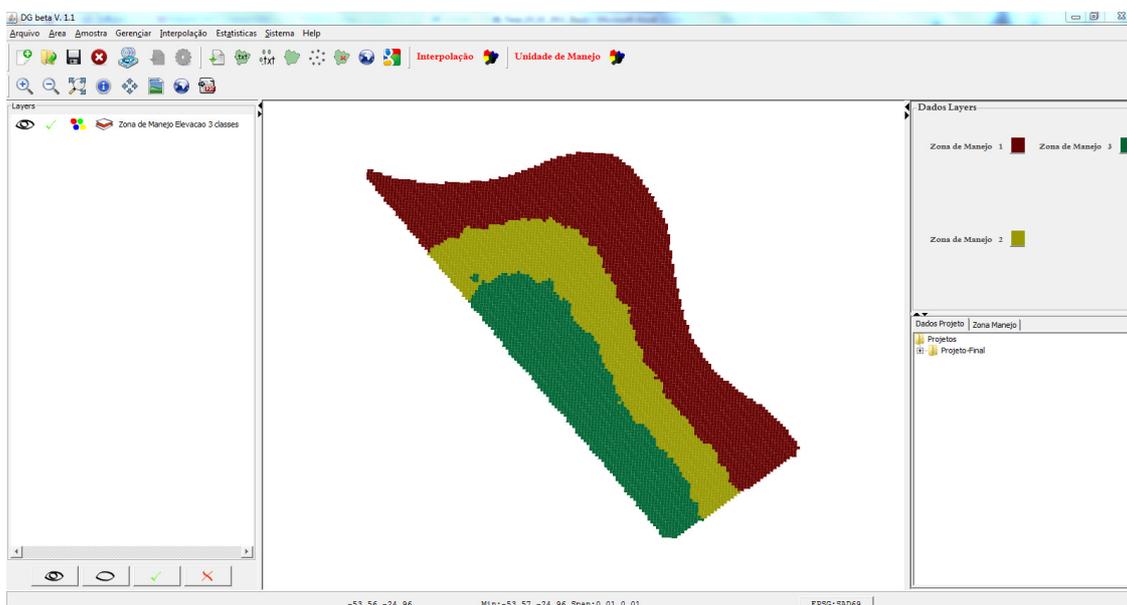


Figura 9 - Tela de visualização de unidades de manejo.

## APÊNDICE VI

### MÓDULO DE CORRELAÇÃO ESPACIAL

Este módulo tem a finalidade de dar suporte para a avaliação da correlação espacial entre atributos. O software gera a matriz de correlação espacial, a qual indica além do nível de correlação (entre 1 e -1), a significância, obtida pela permuta de dados.

O nível de correlação espacial entre os atributos é obtido pela correlação cruzada entre variáveis Y e Z (BONHAM et al., 1995, Equação 1). Com ela, podem-se verificar quais atributos influenciaram de forma positiva ou negativa outros atributos e se uma amostra está correlacionada espacialmente (chamada de autocorrelação espacial).

$$I_{YZ} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} * Y_i * Z_j}{W \sqrt{m_Y^2 * m_Z^2}} \quad (1)$$

em que,

$I_{YZ}$  - Nível de associação entre a variável Y e Z, variando de -1 a 1, sendo: correlação positiva  $I_{YZ} > 0$  e correlação negativa  $I_{YZ} < 0$ ;  $W_{ij}$  - Matriz de associação espacial e calculado por  $W_{ij} = (1/(1 + D_{ij}))$ , enquanto  $D_{ij}$  é a distância entre os pontos i e j;  $Y_i$  - Valor da variável Y transformada no ponto i. A transformação ocorre para se ter uma média zero, pela fórmula:  $Y_i = (Y_i - \bar{Y})$ , em que  $\bar{Y}$  é a média amostral da variável Y;  $Z_j$  - Variável Z transformada no ponto j. A transformação ocorre para se ter uma média zero, pela fórmula:  $Z_j = (Z_j - \bar{Z})$ , em que  $\bar{Z}$  é a média amostral da variável Z. W – Soma dos graus de associação espacial, obtidos através da Matriz  $W_{ij}$ , para  $i \neq j$ ;  $m_Y^2$  - Variância amostral da variável Y;  $m_Z^2$  Variância amostral da variável Z.

Após a computação de  $I_{YZ}$ , é calculada a significância do teste, de acordo com a permutação dos dados, em que são realizados vários testes de correlação (definido pelo usuário) ao se permutarem os valores de uma das variáveis a serem comparadas. Esta técnica é recomendada segundo (ASSUNÇÃO, 2003), mas exige um elevado grau computacional. De acordo com a hipótese  $H_0$ , as variáveis aleatórias  $Y_i$ , são independentes

e identicamente distribuídas e assim todas as permutações dos valores  $Y_i$  entre as áreas são igualmente prováveis. Desta forma, o valor de  $p$  do teste é dado pela Equação 2.

$$p\text{-valor} = \frac{\text{Cont}S(I^{(j)}) > I^{(1)}, j=1, \dots, n}{n+1} \quad (2)$$

em que,  $n$  é o número de permutações (default 999);  $I$  - corresponde ao índice calculado pela equação (1).

Rejeita-se a hipótese nula com  $\alpha$  de significância se  $p\text{-valor} < \alpha$ , ou seja, rejeita-se  $H_0$  com 0,05 se  $p\text{-valor} < 0,05$ .

Caso duas amostras, a serem correlacionadas, não possuam o mesmo número de pontos amostrais ou se, apesar de possuírem a mesma densidade amostral, possuírem pontos amostrais com coordenadas distintas, será gerada uma nova amostra temporária para cálculo de  $I_{VZ}$ , e onde não houver coincidência de localização entre os pontos amostrais, os valores dos atributos a serem correlacionados terão seus valores interpolados pelo método do inverso da distância, considerando os dez vizinhos mais próximos.

A funcionalidade de avaliação da correlação espacial do software está disponível no menu **Estatísticas/Correlação cruzada** e será apresentada a tela de seleção de área (Figura 1).

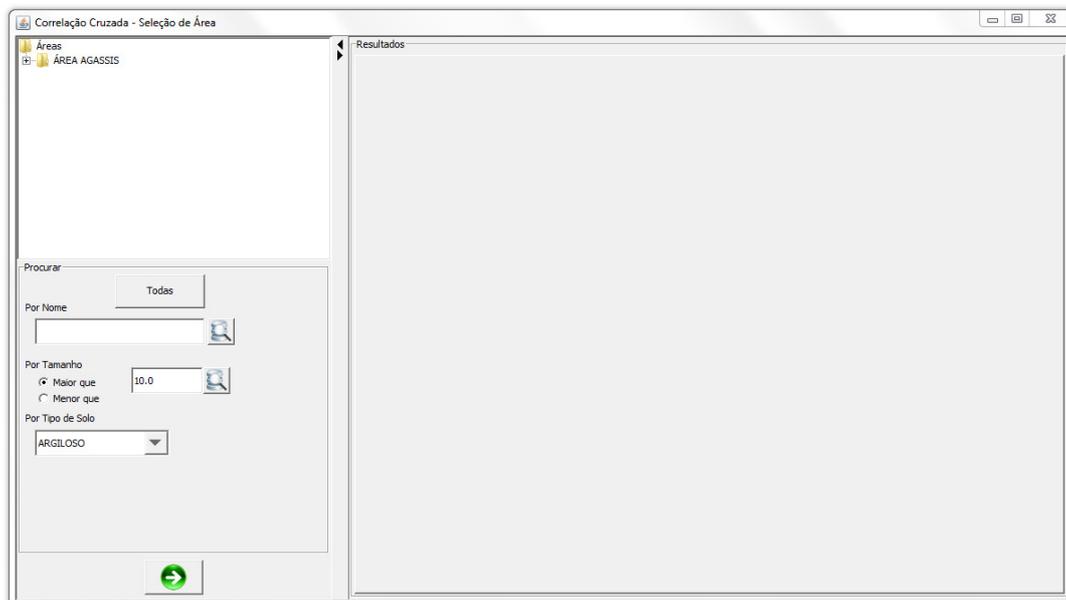


Figura 1 - Tela de seleção de áreas.

Selecionada a área, é apresentada a tela para seleção das amostras a serem correlacionadas (Figura 2). Nesta etapa, além da seleção das amostras (mínimo duas), devem ser indicados o nível de significância do teste (padrão 0,05) e o número de iterações que se deseja ter (padrão 999). Quanto maior o número de iterações, mais demorado é o processo de geração da matriz de correlação.

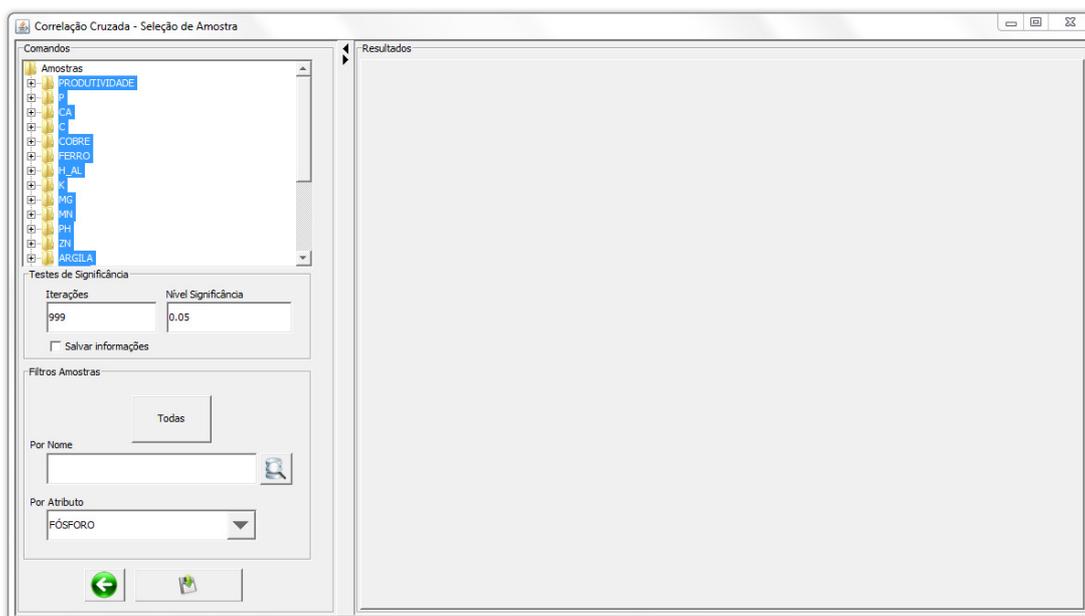


Figura 2 - Tela de seleção de *layers* e definição de parâmetros para correlação cruzada.

É solicitada nesta etapa qual é a *layer* que deve ser considerada como principal (Figura 3), ou seja, sobre qual grade amostral serão criadas novas grades amostrais temporárias, se for o caso.

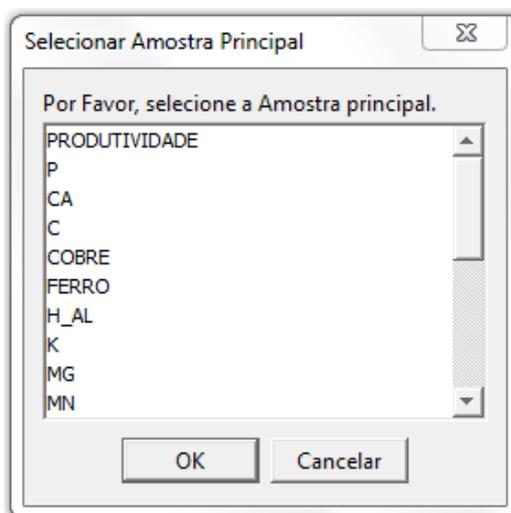


Figura 3 - Tela de seleção da amostra principal.

Após realizada a computação, será apresentada a matriz de correlação espacial (Figura 4) a fim de indicar a significância do teste (significativo – (\*); não significativo – (NS)).

Correlação Cruzada - Seleção de Amostra

Resultados

Correlação - Significância: 0.05 x

	PRODUTIVIDADE	P	CA	C	COBRE	FERRO	H.AL	K	MG	MN	PH	ZN	ARGILA	AREIA	SILTE	IC_10	IC_20	IC_30	DENSIDADE	ELEVAÇÃO	DECLIVIDADE
PRODUTIVIDADE	0,00216 (NS)																				
P	-0,01017 (NS)	0,11647 (*)																			
CA	0,03352 (*)	-0,06877 (NS)	0,0735 (*)																		
C	-0,01993 (NS)	-0,03873 (NS)	0,03487 (NS)	0,05491 (*)																	
COBRE	0,00854 (NS)	-0,1845 (NS)	0,06412 (*)	0,0306 (NS)	0,37461 (*)																
FERRO	0,03076 (NS)	0,01881 (NS)	-0,00014 (NS)	-0,02394 (NS)	-0,05022 (*)	0,03271 (NS)															
H.AL	-0,04165 (NS)	0,08147 (*)	-0,05937 (*)	-0,01544 (NS)	-0,08482 (NS)	-0,00013 (NS)	0,06169 (*)														
K	0,00833 (NS)	0,00719 (NS)	0,00352 (NS)	-0,0137 (NS)	0,00088 (NS)	0,0087 (NS)	0,01028 (NS)	-0,00221 (NS)													
MG	-0,0347 (NS)	-0,03023 (NS)	0,0189 (NS)	0,05114 (*)	0,05206 (*)	-0,02488 (NS)	-0,00415 (NS)	-0,03178 (NS)	0,06797 (*)												
MN	-0,01492 (NS)	-0,02084 (NS)	0,02043 (NS)	0,02584 (NS)	0,19961 (NS)	-0,03353 (*)	-0,02028 (NS)	-0,02154 (NS)	0,03849 (NS)	0,10166 (NS)											
PH	0,03493 (*)	-0,04135 (NS)	0,06790 (NS)	0,03044 (NS)	0,06379 (*)	0,00751 (NS)	-0,0467 (NS)	-0,00048 (NS)	0,01610 (NS)	0,03415 (NS)	0,07347 (NS)										
ZN	-0,0584 (*)	0,09115 (*)	-0,03198 (NS)	0,03539 (*)	-0,12043 (*)	-0,04838 (NS)	0,07288 (*)	0,01034 (NS)	0,04395 (NS)	-0,03254 (*)	-0,06188 (*)	0,14535 (NS)									
ARGILA	-0,09147 (NS)	0,18804 (*)	-0,12149 (NS)	-0,01878 (NS)	-0,29459 (*)	0,01671 (NS)	0,12148 (*)	-0,02484 (NS)	0,00041 (NS)	-0,12603 (NS)	-0,1199 (*)	0,11833 (*)	0,26843 (NS)								
AREIA	0,08647 (*)	-0,17645 (*)	0,11117 (*)	0,01107 (NS)	0,27056 (*)	-0,0192 (NS)	-0,03795 (*)	0,02836 (NS)	-0,01654 (NS)	0,11122 (*)	0,10773 (*)	-0,14624 (NS)	-0,35309 (*)	0,343 (*)							
SILTE	0,05448 (NS)	-0,11207 (NS)	0,10429 (*)	0,02915 (NS)	0,35075 (NS)	-0,00603 (NS)	-0,11112 (*)	0,00961 (NS)	0,03353 (NS)	0,11693 (NS)	0,10715 (NS)	-0,13303 (NS)	-0,28283 (NS)	0,35489 (NS)	0,25114 (NS)						
IC_10	0,02868 (NS)	-0,02663 (NS)	0,03395 (*)	-0,00449 (NS)	0,01468 (NS)	0,00021 (NS)	-0,03781 (NS)	0,00869 (NS)	-0,01798 (NS)	-0,02177 (NS)	0,04007 (*)	-0,05205 (*)	-0,07583 (NS)	0,07839 (*)	0,0459 (NS)	0,0582 (NS)					
IC_20	0,0642 (*)	-0,07779 (NS)	0,05234 (NS)	-0,02627 (NS)	0,08079 (NS)	0,01621 (NS)	-0,06939 (NS)	0,00881 (NS)	-0,04111 (NS)	-0,00542 (NS)	0,06569 (NS)	-0,1174 (NS)	-0,17473 (*)	0,17352 (NS)	0,12094 (*)	0,08474 (*)	0,1492 (*)				
IC_30	0,07476 (NS)	-0,09475 (*)	0,05589 (NS)	-0,03441 (NS)	0,10533 (NS)	0,02257 (NS)	-0,07724 (NS)	0,00776 (NS)	-0,04808 (NS)	0,00384 (NS)	0,07003 (*)	-0,13694 (*)	-0,20466 (*)	0,20162 (NS)	0,14511 (*)	0,08801 (NS)	0,14417 (*)	0,18349 (NS)			
DENSIDADE	-0,04249 (*)	0,06098 (*)	-0,05461 (NS)	0,03311 (NS)	-0,07226 (NS)	-0,03419 (NS)	0,05599 (NS)	-0,02369 (NS)	0,02927 (NS)	-0,01106 (NS)	-0,0452 (NS)	0,09101 (*)	0,16486 (*)	-0,157 (*)	-0,12002 (*)	-0,05424 (NS)	-0,1159 (NS)	-0,13348 (*)	0,11461 (NS)		
ELEVAÇÃO	0,10283 (*)	-0,10486 (NS)	0,07831 (NS)	-0,05329 (*)	0,09718 (NS)	0,06297 (*)	-0,10129 (*)	0,01048 (NS)	-0,06769 (NS)	0,00904 (NS)	0,08852 (*)	-0,17427 (NS)	0,22733 (*)	0,23393 (*)	0,16124 (*)	0,07783 (*)	0,17556 (*)	0,20477 (*)	-0,16995 (NS)	0,27974 (*)	
DECLIVIDADE	-0,04924 (NS)	-0,0378 (*)	-0,02782 (NS)	-0,00483 (NS)	0,12346 (*)	-0,0238 (NS)	0,01084 (NS)	-0,02085 (NS)	0,02873 (NS)	0,06882 (NS)	-0,00614 (NS)	-0,00151 (NS)	-0,01217 (NS)	0,00286 (NS)	0,02890 (NS)	-0,03366 (*)	-0,03824 (NS)	-0,03584 (NS)	0,03523 (NS)	-0,0447 (*)	0,07423 (NS)

(\*) Significativo (NS) Não Significativo

Figura 4 - Matriz de correlação espacial.

## APÊNDICE VII

### MÓDULO DE AVALIAÇÃO DE UNIDADES DE MANEJO

Após geradas as unidades de manejo, pode-se realizar a avaliação das mesmas de acordo com os pontos amostrais. As metodologias utilizadas para avaliação correspondem à análise de variância (ANOVA) e eficiência relativa (ER – Equação 1). Visando facilitar a análise, podem ser gerados gráficos de Box-plot e são calculadas estatísticas de mínimo, média, máximo, desvio padrão, coeficiente de variação e variância. Para o cálculo da ANOVA, assume-se que, internamente em cada sub-região, os dados possuem distribuição normal de probabilidade e são independentes.

$$ER = \frac{S_{AREA}^2}{S_{MZ}^2} \quad (1)$$

em que:  $S_{MZ}^2$  é a soma da variância da produtividade de cada unidade de manejo, calculada separadamente, considerando a proporção do total da área que a unidade de manejo representa;  $S_{AREA}^2$  - variância da produtividade referente à toda a área.

A opção de análise de unidades de manejo pode ser acessada no *software* por meio do menu **Estatísticas/Avaliação de Unidades de Manejo**. Ao acessar essa opção, será apresentada a tela de seleção de qual unidade de manejo se deseja avaliar (Figura 1).

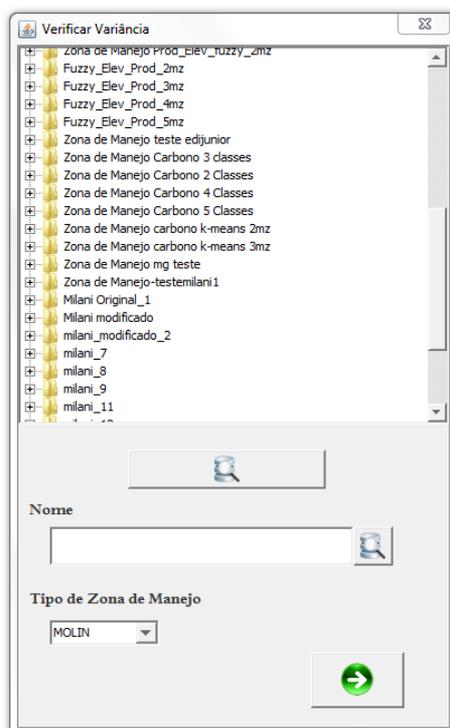


Figura 1 - Seleção da UM que se deseja avaliar.

Selecionada a UM, é apresentada a tela de seleção de amostras que se deseja utilizar para avaliação da UM (Figura 2), em que normalmente é utilizada a produtividade.

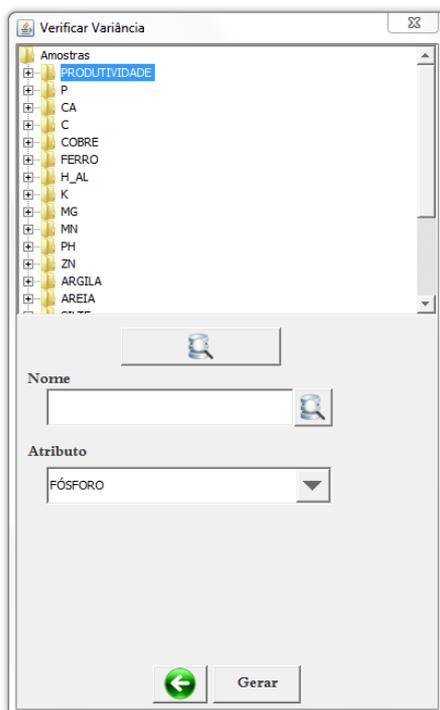


Figura 2 - Seleção amostra que se deseja utilizar para avaliação da UM.

Selecionada a amostra, são apresentadas as estatísticas descritivas, assim como os valores de ER (Figura 3). São apresentados ainda o percentual de área que cada unidade de manejo representa e a quantidade de elementos amostrais que representa cada unidade de manejo.

Nú...	% Área	Nº Amo...	Mínimo	Média	Máximo	DP	Variância	Coefficiente Vari...	Var. Prop	Var. Prop. Total	Eficiência Relativa
1	0,46136	23	1,55181	2,316	3,19049	0,50337	0,25338	0,21734	5,8277	0,37992	1,17652
2	0,27144	18	0,1028	2,56035	3,53494	0,77462	0,60004	0,30255	10,80069	0,37992	1,17652
3	0,26719	27	1,9184	2,90802	4,3369	0,61219	0,37478	0,21052	10,11912	0,37992	1,17652

Figura 3 - Resultados da avaliação de UM, utilizando a eficiência relativa.

Para geração dos gráficos de Box-plot de forma individual, deve-se clicar com o *mouse* na respectiva linha que representa a unidade de manejo desejada e o gráfico será

apresentado. Caso se deseje gerar um gráfico Box-plot contendo todas as UM's, deve-se acessar a opção **gerar Box-Plot** . Será apresentado o gráfico conforme Figura 4.

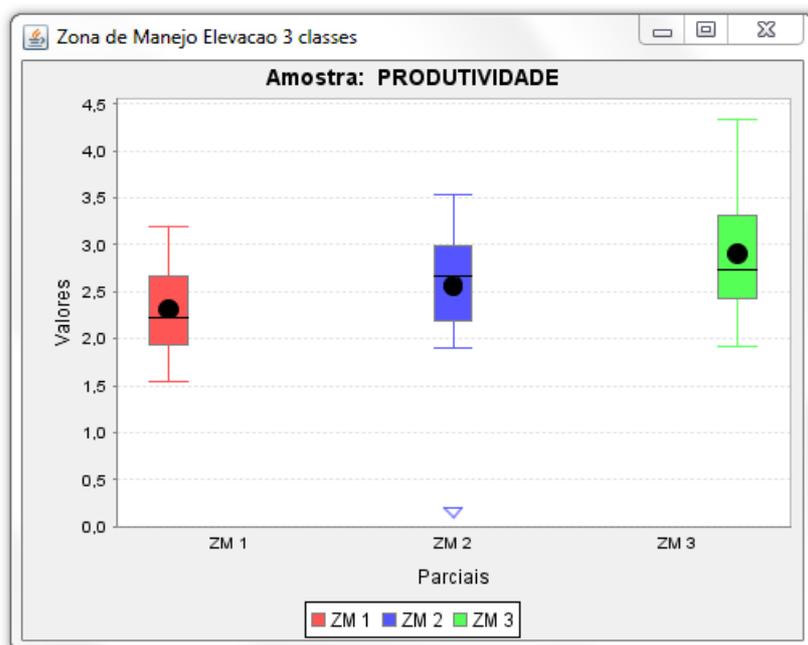


Figura 4 - Gráfico de Box-Plot para a amostra.