

Sistema de Informação de Solos no Brasil

Suzana Druck Fuks¹, Silvio Barge Bhering², Astério Kiyoshi Tanaka³ e César da Silva Chagas¹

I-INTRODUÇÃO

Os sistemas ecológicos dos trópicos e subtrópicos se caracterizam pela alta biodiversidade e um grande potencial em termos de recursos naturais renováveis. Estes ecossistemas evoluíram sobre os mais diversos regimes climáticos, caracterizados por altas temperaturas e uma grande variabilidade em termos de precipitação, resultando um intrincado interrelacionamento ecológico, com um alto grau de fragilidade face à intervenção do homem, particularmente com a utilização indiscriminada da moderna tecnologia. A fragilidade desses sistemas em relação à tecnologia utilizada pode ser observada nos problemas ecológicos enfrentados hoje e que decorrem das taxas aceleradas de deterioração ambiental expressa nas desflorestações, desertificações e erosões dos solos. Esses problemas tornam-se mais graves onde o avanço da fronteira agrícola é mais dinâmico. O problema não está em transformar ou mesmo alterar o ecossistema natural, mas nas conseqüências em termos ambientais dessas modificações.

Em face ao dilema de explorar recursos para o melhor desempenho econômico, de determinadas regiões, a fragilidade ecológica e a necessidade de encontrar alternativas para um desenvolvimento sustentável à associação da questão ambiental a pesquisa agrícola torna-se uma necessidade evidente, principalmente, se efetuada através de procedimentos que possam prever, simular e monitorar processos ambientais avaliando-se antecipadamente os resultados das intervenções realizadas no meio ambiente pela utilização de determinadas tecnologias agrícolas. Essa pesquisa certamente auxiliará no aprimoramento do conhecimento desses processos e na implementação de políticas dos que planejam o desenvolvimento de uma agricultura brasileira auto-sustentável.

Entretanto, o desenvolvimento dessa qualidade de pesquisa requer uma estrutura em que a sua implementação possa se alicerçar, devido à complexidade de questões que decorrem na integração dos dados ambientais, na relação desses com modelos formais, na integração de ambos com os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), que se apresentam hoje como um instrumento importante na pesquisa ambiental. Essas questões se tornam ainda mais desafiadoras devido à importância, nesse contexto, da informação de solos e das dificuldades que se apresentam na sua integração com outras variáveis ambientais, uma vez que os dados de solos se expressam de diferentes formas, seja descritiva / qualitativa ou quantitativa e suas propriedades tem distribuições espaciais em diversas escalas de tempo e espaço, apesar de muitas vezes observadas no mesmo ponto amostral.

Assim, para que o Centro Nacional de Pesquisa de Solos pudesse responder a questões relevantes na área ambiental, no que diz respeito ao recurso solo, e auxiliar a Embrapa na integração ambiente - pesquisa agrícola, era necessário inicialmente implementar uma estrutura computacional para a organização e a integração da informação de solos.

¹ Pesquisador do CNPS

² Analista de Sistema do CNPS

³ Professor UNI-RIO

A informação ambiental, principalmente no que diz respeito a solos e clima, compõe importante acervo de alguns dos centros da EMBRAPA. O Centro Nacional de Pesquisa de Solos possui dados de levantamentos de diversos tipos em todo o território nacional, efetuados por mais de 40 anos, e coordena projeto no sentido de continuar gerando informações básicas de solos com a participação de outras unidades de pesquisa na Embrapa que se encontram em diversas regiões do país como: Centro de Pesquisa Agroflorestal da Amazônia Oriental-CPATU, Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados-CPAC, Centro Nacional de Pesquisa de Florestas-CNPQ, Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido-CPATSA. O Centro de Pesquisa de Agricultura do Cerrado vem também desenvolvendo pesquisas na área de agroclimatologia utilizando dados climatológicos de todo o país, depurados de diversas fontes.

As informações de solo e clima são as principais variáveis nos procedimentos de análise ambiental, mas só podem ser adequadamente utilizadas se organizadas em sistemas que possibilitem o conhecimento e a recuperação ágil do conjunto de dados disponível na instituição. Entretanto, a organização e a integração de observações ambientais em Sistemas de Informações requer a utilização de procedimentos computacionais ainda em desenvolvimento e que constituem objeto de pesquisa, uma vez que, necessitam armazenar e recuperar simultaneamente informações com características espaciais e não-espaciais algumas vezes observadas em diferentes níveis de escala e, conseqüentemente, com um maior ou menor nível de detalhamento .

O desenvolvimento de Sistemas de Informação de Solos pode ser descrito por três fases distintas (Bhering, 1995). A primeira referente à organização de dados com o armazenamento de observações de perfis de solos em meio digital, o que levou as instituições responsáveis por levantamentos trabalharem na normatização dos processos de coleta e ordenamento dos dados. A segunda enfatizou o manuseio automático de informações de solos para aplicações, o que gerou um rigoroso método de mapeamento. A terceira priorizou a quantificação da informação de solo, consolidando as pesquisas desenvolvidas nas décadas de 70 e 80, que uma vez reunida em bases de dados de perfis e mapas de solos puderam ser utilizadas de diversas formas nos processos de análise e modelagem das bases de dados.

Entretanto, como a provisão, em "softwares" de Sistemas de Informação Geográfica, de ferramentas de classificação e generalização com base em atributos não-gráficos se processou rapidamente solucionando os problemas de custos e tempo na geração de interpretações , o desafio, nessa etapa, passou a ser como as informações poderiam ser derivadas por um caminho lógico e sistemático.

Posteriormente, a representação espacial e a estrutura de armazenamento dos dados começaram a ser questionados. Atualmente, identifica-se que muitas propriedades dos solos podem ser interpoladas de dados pontuais, com o objetivo de descrever a variação espacial dentro das unidades de área, o que representa um desafio à idéia da constituição da paisagem em unidades homogêneas, e de que essas podem ser completamente caracterizadas por perfis representativos. Assim como também o ordenamento de unidades de levantamentos de solos dentro de um conjunto rígido e bem definido de classes , visto que, numa avaliação geral, poucos perfis de solos com ocorrência nos limites das unidades de mapa encontram-se dentro de todas as especificações da classificação da unidade.

Finalmente o emprego de sistemas especialistas vem se incorporando a sistemas de informação de solos, porém essa área mostra-se ainda em desenvolvimento. A evolução dos Sistemas de Informação de Solos pode ser melhor compreendida pela visualização da figura 1 a seguir.

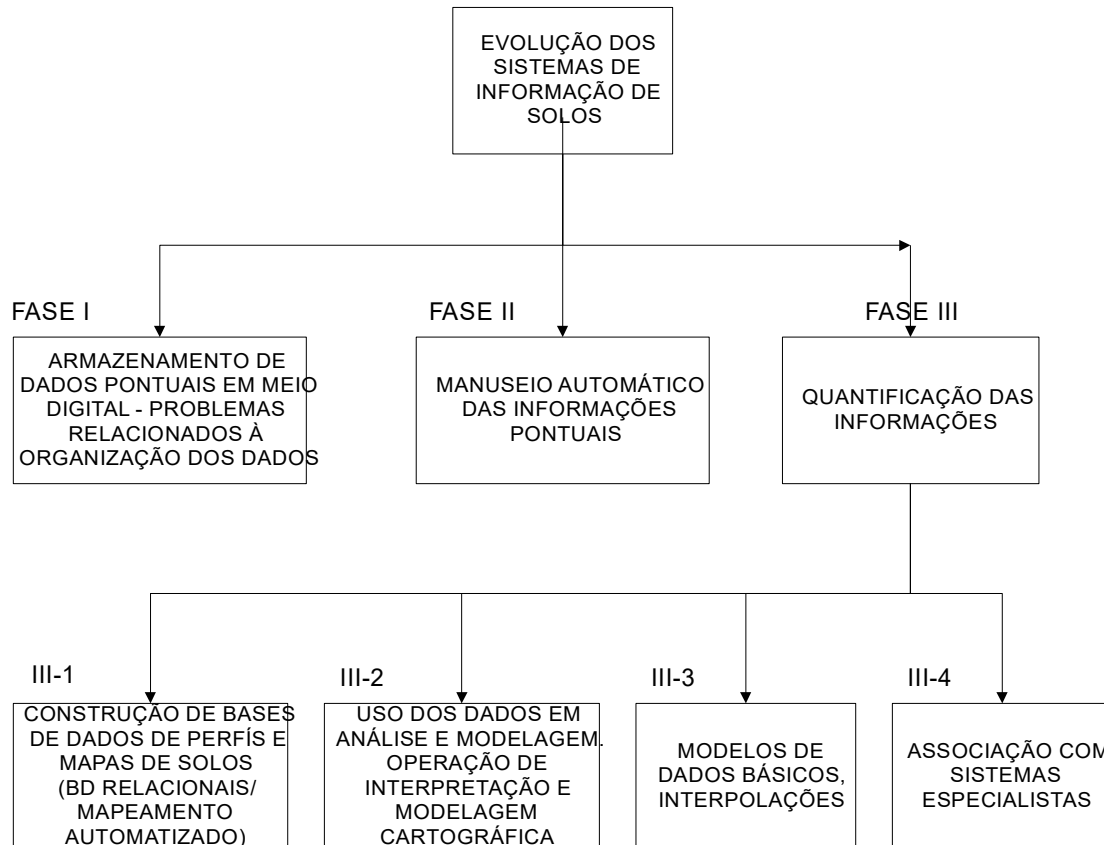


Figura 1: Evolução dos Sistemas de Informação de Solos

Paralelo e intimamente associado ao desenvolvimento dos sistemas de solos, a informação de solos que tem sido tradicionalmente utilizada pelos cientistas para responder questões referentes ao planejamento da produção agrícola, seja através da determinação do uso potencial dos solos, de técnicas de manejo que propiciem o aumento da produtividade ou determinação de práticas conservacionistas, vem também evoluindo. A qualidade das respostas exigidas hoje aos cientistas de solos vem exigindo transformações no tratamento da informação de solos uma vez que, hoje, o solo não é mais considerado um corpo a ser estudado isolado, mas sim um componente importante de um ecossistema onde ele interage, transmitindo e respondendo a estímulos. Assim, a diversidade de questões a serem respondidas nos projetos de desenvolvimento agrícola, explícitos no binômio “preservação ambiental versus desenvolvimento”, vem motivando a crescente integração dos dados de solos a modelos ambientais, a maior integração da informação de solos a outras fontes de dados ambientais e, conseqüentemente, também a associação de Sistemas de Informação de Solos e Sistemas de Informações Geográficas.

A literatura recente mostra que a integração de dados de solos a modelos quantitativos é um dos principais fatores de integração dos Sistemas de Informações Geográficas e dos Sistemas

de Informação de Solos. É hoje possível ligar modelos ambientais a dados de solos, e muitos institutos vêm investindo bastante nessa área. Entretanto essas inovações tecnológicas, que possibilitam a integração e automatização da informação de solos, não têm tido êxito em responder as novas indagações requeridas à ciência do solo (Burrough 1992). Uma das razões para esse paradoxo, automatização da informação de solos versus qualidade de respostas exigidas pelos usuários, é a atenção insuficiente dos modelos utilizados à precisão das respostas obtidas. A maior parte dos trabalhos que utilizam SIG/SIS armazenam representações de um fenômeno contínuo, como os solos, de forma discreta, não favorecendo a uma análise da variabilidade espacial, nem a verificação de seus efeitos na imprecisão dos fenômenos modelados.

Assim, planejadores da atividade agrícola, sejam eles produtores ou agentes do governo, que necessitam utilizar os resultados oferecidos pela pesquisa, na tomada de decisões, não estão só interessados nas informações expressas nos mapas convencionais, mas também nas medidas de imprecisão associadas aos processos considerados, expressas algumas vezes em probabilidades ou nos erros propagados nas diversas operações efetuadas nos SIGs. São informações importantes e que estão intimamente associadas à representação espacial definida. O exame da propagação de erros em representações espaciais (mapeamentos) determina as áreas de maior ou menor incerteza da informação e orienta o produtor na escolha das regiões de maior ou menor risco na sua tomada de decisão.

A importância de associar aos resultados obtidos, na integração SIS/SIGs, a distribuição da propagação de erros efetuados é verificada no trabalho de Arbia (1993), que a esse respeito argumenta: ... “o que é nos SIGs sua maior força, isto é, a possibilidade de lidar e combinar informações de diversos tipos e fontes, pode ser também sua maior fraqueza, pois em algumas circunstâncias os procedimentos realizados podem enfatizar de tal forma os erros gerados que se corre o risco de se ter modificações substanciais dos resultados”.

O modelo de representação espacial para dados de solos em SIGs segue as características dos convencionais mapas de solos. Entretanto, críticas a esses procedimentos vem se efetuando, principalmente quando as observações de solos se integram a outras fontes de dados, uma vez que já se reconhece a perda e a restrição de informação no produto resultante. Assim, um modelo de representação espacial para dados de solos que considere a continuidade dessa informação, isto é, sua variabilidade espacial, deve ser considerado, pois é necessário ao processamento das novas informações requeridas aos Sistemas de Informações de Solos, visto que atua diretamente na integração desses sistemas aos SIGs e nos métodos para a verificação da propagação de erros na associação com modelos ambientais (Heuvelink et al, 1989, De Roo et al, 1992).

Assim o projeto “Sistema Integrado de Informações Ambientais Georreferenciadas” realizado pelo Centro Nacional de Pesquisa de Solos, se propôs a desenvolver a estrutura necessária à integração da informação de solos à pesquisa ambiental, considerando os processos computacionais necessários à organização e à integração da informação de solos (SIS/SIG) e a importância da representação espacial na associação a modelos ambientais nos SIGs.

II-O PROJETO

O projeto “Sistema Integrado de Informações Ambientais Georreferenciadas teve, portanto, como objetivos desenvolver e disponibilizar metodologias e produtos no que dizem respeito a :

- *organização dos dados de solo e clima disponíveis e ou gerados pela Embrapa;*
- *integração desses dados através de procedimentos computacionais estruturados numa Cooperativa de Dados; e*
- *estruturação de procedimentos para a representação da continuidade espacial da informação de solos em SIG .*

Esse projeto foi coordenado pelo Centro Nacional de Pesquisa de Solos e teve a parceria de dois outros centros da EMBRAPA, o Centro de Pesquisa de Agropecuária do Cerrado-CPAC, e o Centro Nacional de Pesquisa em Tecnologia de Informática para Agricultura-CNPTIA. Também outras instituições de pesquisa do país se associaram como: Instituto Militar de Engenharia-IME, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE, o Instituto de Matemática IM/UFRJ, e a Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia COPPE/Sistemas. Dessa forma, o projeto pode contar com uma equipe multidisciplinar necessária ao seu desenvolvimento com especialistas nas áreas de pedologia, agroclimatologia, banco de dados, sistemas de informações geográficas, geoestatística e inteligência artificial.

Essas instituições se associaram ao projeto da seguinte forma :

1. na organização da informação ambiental temos o Sistema de Informação de Solos e o Sistema de Informação de Clima - CNPS, CPAC, IME;
2. na integração dos dados ambientais que compreende a Cooperativa de Dados - CNPTIA, CNPS e CPAC; e
3. na representação espacial da informação ambiental em SIG - CNPS , INPE ,IM/UFRJ.

O projeto procurou portanto desenvolver uma estrutura em que as estratégias e métodos necessários pudessem ser implementadas gerando produtos que associassem os aspectos de organização, integração e representação espacial (Figura 2).

Assim pode ser observado (Figura 2) que a todo objetivo proposto no projeto um correspondente produto foi gerado . Portanto,

- na organização de dados, apresenta-se o SIGSOLOS e o Sistema de Clima;
- na integração de dados ambientais, dispõem-se da Cooperativa de Dados; e
- na representação espacial em SIG, possuímos o Módulo de Geoestatística, implementado no SIG/ SPRING.

Foi também preocupação do projeto a associação do SIG/SPRING aos objetivos de organização, integração e representação espacial. Assim pretendeu-se utilizar o crescente desenvolvimento computacional dos SIGs no que se refere à manipulação de dados geométricos e topológicos na representação de dados espaciais.

Entretanto, quando a informação de solos deve se associar a outros tipos de variáveis ambientais, como por exemplo, em projetos de zoneamento, onde propriedades de solo e clima,

dentre outras, se associam, a representação espacial convencional dos SIGs não é adequada. Assim este projeto subsidiou também a implementação no SPRING do módulo de geoestatística.

A integração dos SIGs com as estatísticas espaciais é um ponto importante no desenvolvimento de modelos ambientais, cumprindo funções que se complementam e se potencializam. Todavia, apesar do tema ser objeto de pesquisas, pouco se realizou nesta área. Somente algumas “interfaces” foram desenvolvidas, entre elas a do GRASS com o software S⁺, que não pode ser visto como um software de estatísticas espaciais, e a do ARC/INFO que possui procedimentos de krigagem. Uma das razões para este fato é o desconhecimento pela comunidade de usuários de SIGs dos procedimentos das estatísticas espaciais devido a sua especificidade e também pelas origens dos SIGs que priorizaram os aspectos geográficos destes sistemas refletidos na ênfase dada inicialmente ao modelo vetorial na estruturação dos dados. Entretanto, com a crescente utilização da estrutura raster, se efetivam as bases para esta integração. O papel dos modelos ambientais será o de alicerçar esta união.

Portanto, a integração do SIGSOLOS e do Sistema de Clima ao SPRING e acréscimo dos procedimentos de lógica fuzzy e de geoestatística disponíveis nesse SIG, tem como objetivo fornecer recursos, que viabilizem à pesquisa uma qualidade de respostas que hoje vem sendo exigidas à pesquisa de solos.

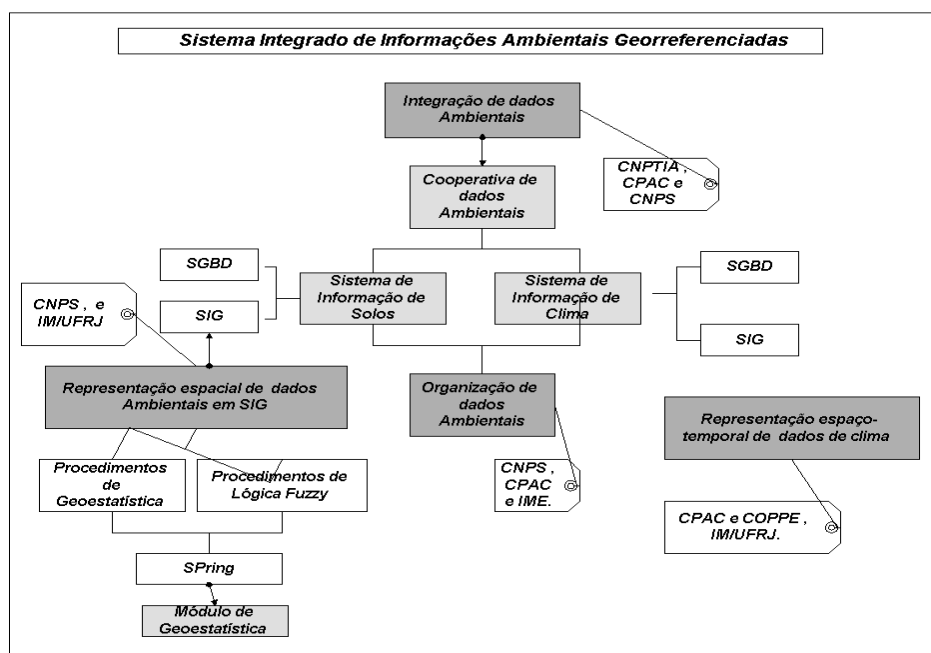


Figura 2: Estrutura Geral do Projeto

Desta forma, o projeto evidencia a importância do SIG/SPRING para a Embrapa uma vez que a pesquisa ambiental requer a especialização de procedimentos dos SIGs no trato dessas questões.

Organização de dados solos pela Embrapa-CNPS

O Sistema de Informações de dados ambientais gerados nesse projeto derivaram de dois extensos acervos de dados, um de solos e o outro de clima, tradicionalmente utilizados nos trabalhos de pesquisa da Embrapa e que se encontravam anteriormente organizados de forma rudimentar.

A implementação dos novos sistemas foi precedida por uma etapa inicial de definição de estratégias devido às características espaciais da informação e também pelas necessidades de disseminação dos sistemas dentro e fora do âmbito da Embrapa

Assim a definição do escopo do sistema considerou-se: o grande número de variáveis ambientais necessárias à pesquisa edafo-ambiental; as informações necessárias as atividades de pesquisa de solos e os diferentes níveis de usuários (Bhering,1995).

Se considerarmos, por exemplo, os grupos de atividades desenvolvidos pelo Centro Nacional de Pesquisa de Solos se observará que esses se caracterizam pelas distintas demandas de informações, de capacidades operativas e funcionais, o que gerou a necessidade de considerar-se adequações e compatibilizações.

As informações requeridas pela pesquisa básica, cujo objetivo final é a obtenção do conhecimento, são de um amplo espectro de variáveis, usualmente, aplicado sob um número restrito de casos, enquanto que no desenvolvimento de aplicações a necessidade de dados é determinada pelas variáveis que alimentam determinado modelo. Dessa forma, é comum que as necessidades de informações básicas para formulação de teorias e hipóteses seja diverso daquele relacionado a aplicação dos resultados de pesquisa.

No caso de aplicações voltadas à caracterização, análise e avaliação dos recursos naturais, os requisitos fundamentais residem na necessidade de uma adequada descrição da realidade. Sistemas de Informação voltados a esse grupo particular de atividades, requerem alta flexibilidade, além da necessidade de armazenamento e recuperação de informações em diversos níveis de detalhe.

No monitoramento, entretanto, os requisitos de dados concentram-se normalmente sob um limitado grupo de indicadores, porém devem estar sempre disponíveis na frequência desejada e no momento adequado. Dessa forma, os processos geradores devem ser conhecidos à priori, bem como os indicadores a serem monitorados e avaliados . Assim considerações de linhas básicas de estudo e pesquisa devem ser cuidadosamente avaliadas antes da implementação do projeto do sistema. Devido a essas características, atividades de monitoramento foram desconsideradas no desenho do sistema.

Assim, o projeto de um sistema de informação de solos pode ter duas orientações distintas: de Propósito Geral, (orientado aos dados); ou de Propósito Especializado, voltado à automação de procedimentos ou funções. A diferença entre esses dois enfoques é nítida, pois, enquanto o primeiro objetiva atender a um amplo espectro de requisitos de informação e, conseqüentemente enfoca os dados, requerendo muito mais flexibilidade, os Sistemas Especializados objetivam apenas um específico grupo de tarefas.

Essas características costumam obrigar que sistemas de Propósito Geral possuam etapas preliminares de processamento e análise dos dados anteriores a sua utilização, o que implica aspectos organizacionais e operacionais de maior porte. Portanto, nesse aspecto reside a

primeira característica do Sistema de Informações de Solos do CNPS, ou seja, é um sistema de propósito geral, voltado numa primeira etapa ao ordenamento e disponibilização de dados ambientais.

Assim diversas características do Sistema de Informação de Solos se definem. O modelo conceitual objetivou flexibilidade e abrangência, calcada na análise do acervo de dados do CNPS e instituições afins, sejam eles oriundos de Levantamentos Pedológicos, oficinas, correlações, ou mesmo dissertações e teses.

Os dados de solos que compõe o sistema podem ser divididos em três grandes grupos. O primeiro engloba dados exclusivamente de caracterizações morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas, em pontos específicos, normalmente associados a viagens de correlação, oficinas, dissertações e teses. O segundo constituído dos Levantamentos Pedológicos, em particular, os compilados, ou seja, estudos que não geram observações adicionais àquelas realizadas pelos estudos originais. O terceiro e mais complexo, são os Levantamentos Pedológicos propriamente ditos, a principal fonte de dados do sistema e da ciência de solo como um todo.

Nesse terceiro grupo, algumas categorias se distinguem, entre elas tem-se: os estudos onde as unidades de área discretizadas no mapa de solos e seus componentes enumerados na legenda nem sempre possuem pontos de observação específicos, (ou seja, a cardinalidade entre um ponto de observação e a unidade de área pode ser de zero para N), aqueles em que essa relação é de *pelo menos um para um*, ou seja, existe sempre um ponto de observação por unidade de área discretizada no mapa de solos; e por último os estudos onde a relação de pontos observados é de *N pontos para cada unidade de área* discretizada no mapa.

Em relação aos estudos a nível de reconhecimento, componentes da primeira categoria, com escalas de publicação variando entre 1:300.000 e 1:1.000.000, levantamentos pedológicos cobrem a maior parte do país. E é nessa categoria que reside a nossa principal fonte de dados e problemas, visto que grande parte desses estudos não seguiram normas e critérios adequados de mapeamento, seja pela antigüidade, seja pelo elevado grau de generalização dos estudos. Dessa forma, a existência de legendas de mapas descontroladas, com componentes não bem definidos, muitos dos quais inferidos, associado as outras duas categorias de estudos, de cardinalidades distintas, levou a um enorme esforço no desenvolvimento do modelo conceitual do sistema, de forma que o mesmo pudesse contemplar essas diversidades.

É notório que essa flexibilidade tem um preço, seja em questões de complexidade, seja em desempenho no processo de aquisição de dados.

Portanto, parte da atual demanda por informações de solos não é atendida, visto que raras áreas possuem níveis adequados de informação para o efetivo planejamento de uso sustentável e ocupação racional, ou para a aplicação de metodologias de interpretação de caráter quantitativo. Com o objetivo de melhorar esse desequilíbrio entre a demanda e a oferta por informações de solos, esforços significativos vêm sendo realizados, dentre os quais, o emprego de novas técnicas, processos e instrumentos, capazes de reduzir custos e aumentar a confiabilidade na coleta e tratamento dos dados.

Nesse enfoque, foram projetadas duas bases de dados distintas, porém interligadas, a de pontos amostrais, ligada essencialmente à taxonomia de solos, capaz de servir de fonte de

dados em diversas áreas de pesquisa; e a base dos mapas de solos, relacionada à distribuição dos aspectos de solos no contínuo espacial, à luz dos processos de discretização e mapeamento, usuais em pedologia. Essa estratégia foi desenhada em diversas etapas, dentre as quais vale ressaltar a aquisição de dados em ambiente “windows”, monousuário, com o uso de um sistema gerenciador de banco de dados, MS-Access, a ser disponibilizado às instituições parceiras, com posterior carga do sistema central, em ambiente multiusuário, multiprocessado, CA Open-Ingres, de maneira a facilitar o acesso remoto, conforme pode ser visualizado na figura 3 apresentada a seguir.

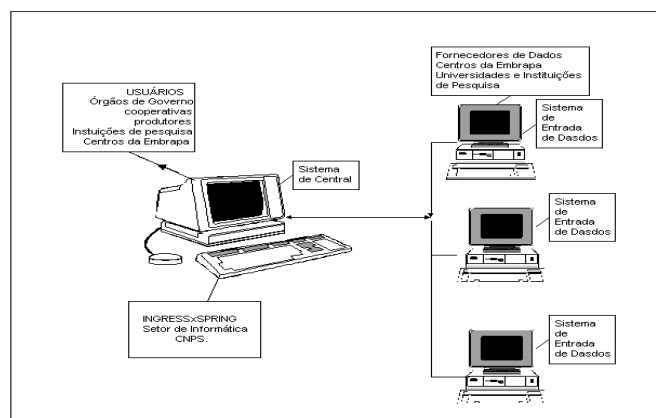


Figura 3: Modelo de distribuição do SIGSOLOS

O emprego do conceito de sistema modular, distribuído e replicado, teve como finalidade atender e ajudar a resgatar, organizar e disponibilizar esse acervo a comunidade científica. Para tal, a estratégia central empregada foi o uso de ferramentas “CASE”, ou seja, de projeto auxiliado por “software”, o que colaborou no desenvolvimento de um modelo de dados independente de “software” e plataforma computacional, de forma a possibilitar a maior flexibilidade possível.

Com relação à base de dados gráfica, o projeto utilizou a arquitetura dual que integra um Sistema Gerenciador de Banco de Dados, (SGBD), que dá suporte ao modelo conceitual estabelecido e um Sistema de Informações Geográficas (SIG). Esta arquitetura possibilitou o tratamento de dados tabulares e espaciais, uma vez que os SGBD’s não armazenam dados geográficos nem possuem operadores apropriados, e os SIG’s não possuem a capacidade de gerenciar, de forma eficaz, um grande volume de dados.

A tecnologia atual disponível possui deficiências no gerenciamento e tratamento de grandes bases geográficas, visto que o uso das propriedades dos tradicionais SGBD’s é restrito nos principais “softwares” disponíveis comercialmente. Outras restrições são as ineficientes linguagens de consulta espaciais e estruturas de armazenamento. Num enfoque de mais alto nível, os modelos de dados e as funções de manipulação e análise não são adequados à representação e tratamento de hierarquias inerentes aos dados.

Dessa forma, a futura evolução da base de dados do SIGSOLOS pretende o uso de tecnologias emergentes, tais como: banco de dados não-convencionais, em especial, orientados a objetos, ou num nível inferior, bancos de dados convencionais, baseados no modelo relacional,

porém, com funcionalidades estendidas, bem como a especialização do sistema por níveis de informação.

Porém, na fase atual, é objetivo a existência de dois ambientes SIGs distintos, um de aspecto operacional, utilizando o “software” ARC/INFO com “core” do sistema, e um segundo ambiente, voltado à área de desenvolvimento e pesquisa, utilizando o SPRING, ambos operando associados a sistemas gerenciadores de banco de dados.

O modelo conceitual do SIGSOLOS é composto portanto por um conjunto de entidades e por seus relacionamentos, como pode ser observado resumido na figura 4. As entidades procuram definir objetos reais ou abstratos, de relevância. A entidade principal, eixo do modelo, é a *Trabalho*, uma vez que ela amarra todas as demais e define o tipo de informação disponível e os métodos empregados na sua obtenção.

Assim o sistema se divide em dois subsistemas, vinculados à entidade central *Trabalho*: No primeiro, a entidade de referência é o *Ponto de Amostragem*, de existência real e domínio espacial pontual, caracterizada por diversas propriedades, dentre as quais, a sua localização, fundamental a todo um elenco de aplicações. O *Ponto de Amostragem*, que tanto pode ser um perfil de solo, um perfil complementar ou uma amostra extra, está hierarquicamente relacionado à entidade *Trabalho* e tem no seu georeferenciamento um fator importante de integração dos dados tabulares com as respostas espaciais. Num nível hierárquico inferior, existe a entidade *Horizonte* que é uma agregação das entidades *Morfologia*, *Física*, *Química* e *Mineralogia*.

O segundo subsistema é essencialmente relacionado aos mapas gerados pelos estudos de Levantamentos de Solos, visto que descreve as propriedades não gráficas da entidade *Unidade de Mapeamento*, que serve de ligação com a sua representação espacial, um ente com expressão espacial poligonal.

Na caracterização da entidade *Unidade de Mapeamento* é imprescindível a utilização do conceito de *Componente*, outra entidade do sistema, pois é nesta que, de fato, residem as propriedades relevantes das unidades de áreas discretizadas.

A ligação entre os dois subsistemas pode ser feita por três caminhos distintos, pela localização e, conseqüentemente, através de operadores espaciais, pela entidade *Trabalho*, ou através de um campo definido no *Ponto de Amostragem*, denominado *componente definido*, onde pode-se ou não vincular um *Componente* a uma determinada instância de *Ponto de Amostragem*.

Uma descrição mais detalhada do modelo é encontrada em Tanaka et al., 1997(nesses anais), sendo que o modelo resumido pode ser melhor compreendido na figura a seguir.

As características e conceitos empregados no desenvolvimento da interface de entrada de dados também pode ser vista em detalhes em Baca et al., 1997, nesses anais.

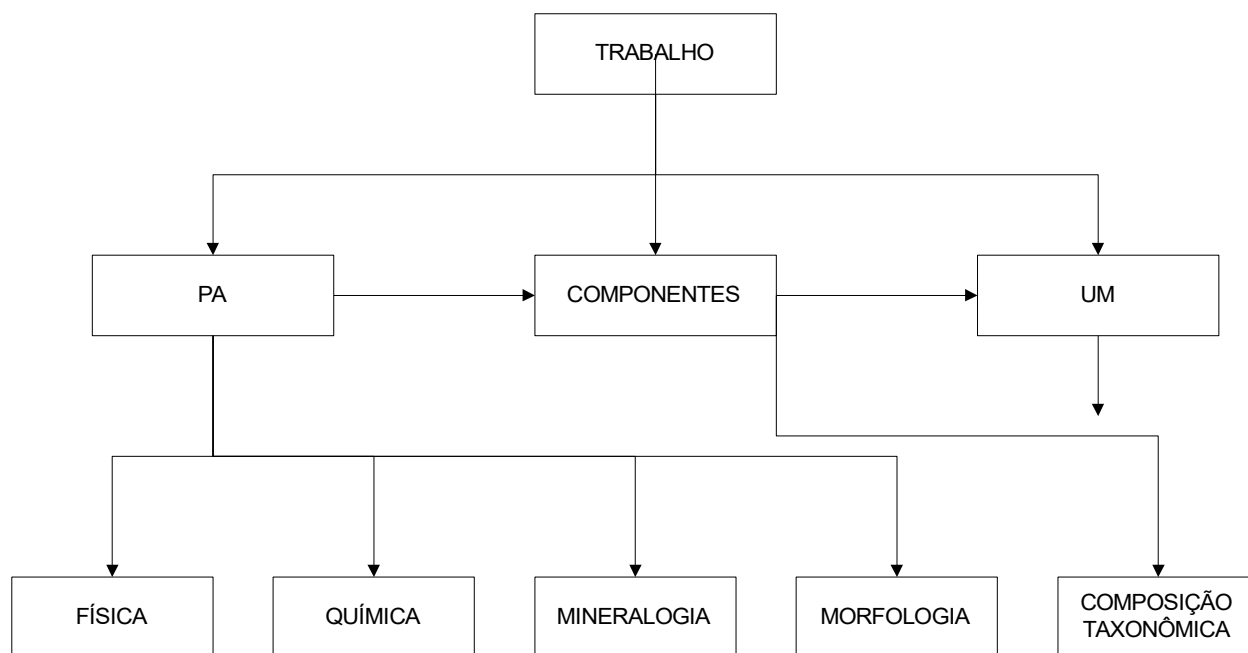


Figura 4: Síntese do Modelo Conceitual do SIGSOLOS

O sistema de clima tem como objetivo organizar as informações climáticas na região do cerrado brasileiro para subsidiar as pesquisas agroclimatológicas desenvolvidas pela EMBRAPA (Assad, 1994).

Para organização das informações climatológicas dos cerrados brasileiros foram utilizados os dados oriundos das publicações normais climatológicas 1961-1990, feita pelo INEMET em 1992.

O sistema "clima" foi desenvolvido em ACCESS no que se refere à organização dos dados das 100 estações selecionadas na região dos cerrados brasileiros. A informação armazenada refere-se a: temperatura média mensal, temperatura máxima mensal, temperatura mínima absoluta mensal, evaporação tanque classe, umidade relativa, temperatura média mínima mensal, temperatura média máxima mensal, evapotranspiração mensal (Thortwint), radiação global, déficit hídrico, pressão Atmosférica.

O sistema clima foi concebido segundo uma estrutura de fácil acesso onde é possível, num primeiro nível, a organização dos procedimentos de entrada de dados, sendo permitida a inclusão, alteração e exclusão dos dados de uma determinada estação. É importante ressaltar que todos os dados são georreferenciados em latitude e longitude.

Para a entrada de dados climáticos, já associados a uma estação, o campo de ligação é o código da estação. Neste campo o sistema oferece três possibilidades, a saber: Inclusão, Alteração e Exclusão.

A recuperação de dados pode ser efetuada definindo-se inicialmente o tipo de consulta. Essa pode ser por estação ou todo o arquivo. Uma vez escolhido o tipo de consulta, o sistema faz a busca no banco de dados e fixa na tela ou imprime os dados solicitados.

Existem, ainda, três funções para auxílio e manipulação do banco de dados, onde é possível organizar, copiar e recuperar o banco. Foi também introduzida uma função conhecida chamada de ASCII. Esta função gera um arquivo ASCII com três colunas: uma de latitude, outra de longitude e uma terceira com valor que pode ser qualquer uma das variáveis climáticas que estão armazenadas no banco de dados. O objetivo é gerar um arquivo já no formato de leitura de um Sistema Geográfico de Informações, para geração de modelos numéricos de terreno e posterior geração de mapas de variáveis climáticas.

II-b Integração dos Sistemas de Informação de Solos ao Sistema de Clima **Aspectos computacionais**

A integração dos dados de solos e de clima, atualmente organizados em diferentes sistemas, armazenados de diferentes formas e gerenciados por dois Centros de Pesquisa da Embrapa, pode ser extremamente difícil no que se refere à busca e o acesso aos usuários externos e internos.

Assim com o objetivo de criar mecanismos computacionais para otimizar o processo de disponibilização dessas informações, foi criada a Cooperativa de Dados que pretende dar uma visão integrada desse conjunto de informações, fornecendo uma interface única para busca, seleção e solicitação de informações técnicas.

A implantação desse sistema foi feita através da participação do CPAC (Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados) e CNPS (Centro Nacional de Pesquisa de Solos) como fornecedores de informações georreferenciadas sobre recursos naturais, e o CNPTIA, no desenvolvimento da infra-estrutura de software do sistema.

Uma Cooperativa de Dados consiste na integração de vários centros de dados através de um meio de comunicação, onde estes centros são os responsáveis pela coleta, armazenamento, processamento e distribuição de dados. A informação disponível na cooperativa pode ser gerada pelo centro de dados ou obtida de fornecedores externos, sendo que neste segundo caso o centro de dados é responsável por todo o processamento para compatibilização da informação com as necessidades dos usuários da cooperativa. As informações fornecidas pela cooperativa devem estar no formato mais adequado ao usuário, minimizando seus custos de pós-processamento.

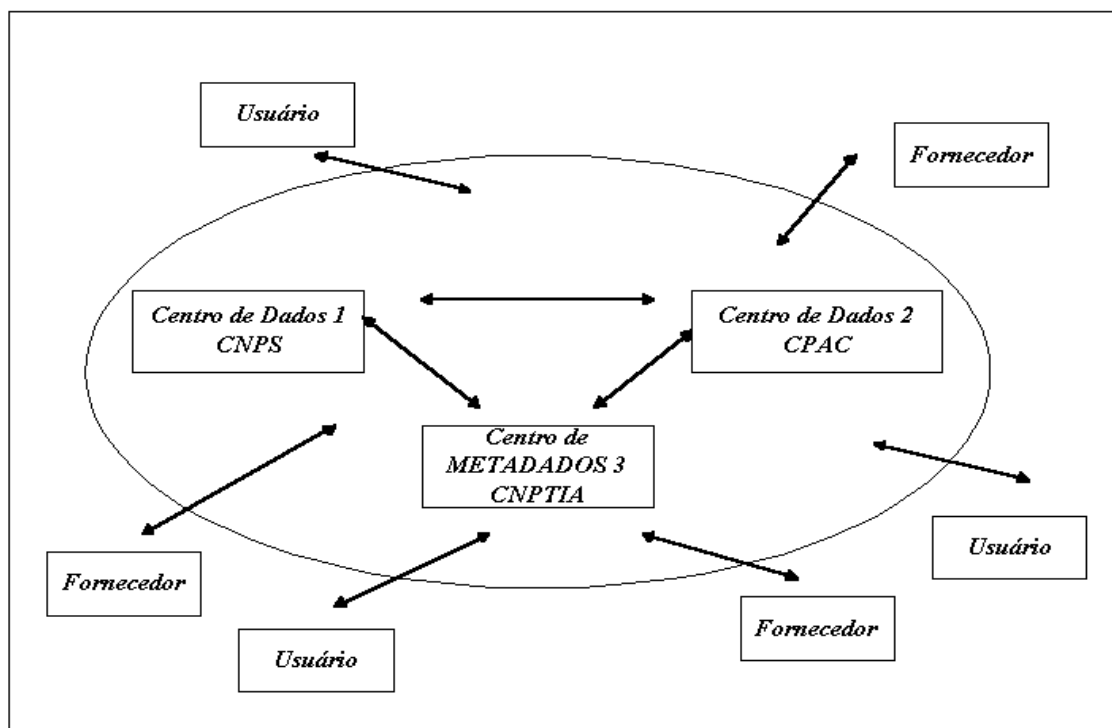


Figura 5: Estrutura de uma Cooperativa de Dados

As principais funções de um centro de dados são: Aquisição de Dados, Armazenamento e Arquivamento de Dados - Disponibilização de Dados e Programas e Integração com outros centros de dados. A estrutura atualmente adotada para implementação de uma Cooperativa de Dados na EMBRAPA utiliza como suporte para disponibilização de informação os mecanismos permitidos pela WWW. Através deles são construídas interfaces que permitem ao usuário definir parâmetros de consultas e receber resultados destas em formato adequado.

O sistema de disponibilização de informações é suportado por dois elementos básicos, permitindo os serviços da WWW: o cliente e o servidor http (hypertext transfer protocol). Estes dois elementos permitem a navegação pela Internet através de interfaces hipermídia descritas usando a linguagem HTML (Hypertext Markup Language).

O usuário interage com o sistema através destas interfaces gráficas. Uma questão é realizada através do preenchimento dos formulários onde são especificados parâmetros básicos de busca, tais como limite geográfico da região de interesse (determinados pelo nome do estado, da cidade ou por coordenadas geográficas de retângulo envolvendo a região) e palavras chaves. Programas clientes http, tais como o Mosaic ou Netscape podem ser usados para visualizar a interface.

A partir dos parâmetros preenchidos pelo usuário é iniciada uma busca distribuída usando protocolo a nível de aplicação. Os metadados de cada centro de dados são consultados paralelamente a fim de que sejam encontrados os dados que se enquadrem nos parâmetros especificados. Este processo é ilustrado na figura 6 abaixo:

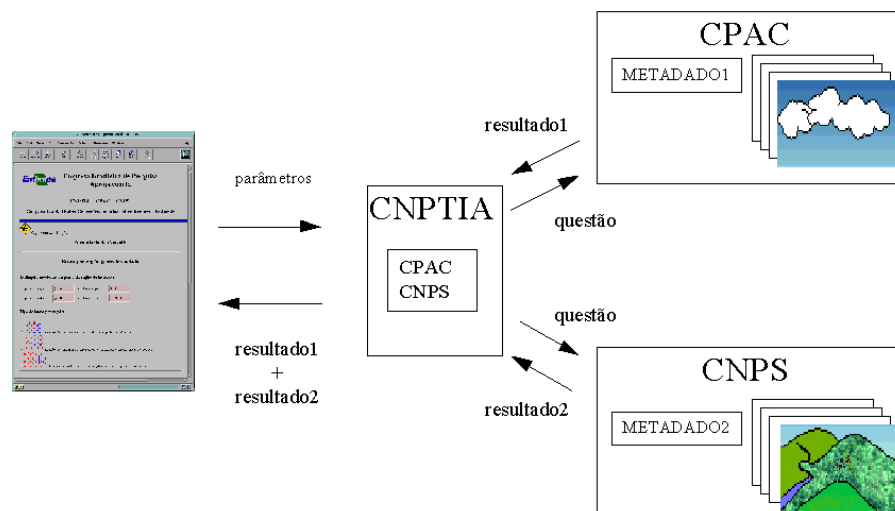


Figura 6 - Mecanismo de consulta

II-c Novos modelos de representação espacial

Os procedimentos computacionais de organização e integração de dados ambientais anteriormente abordados, se constituem num importante aspecto do projeto pois dimensionam ao usuário a informação disponível e otimizam sua busca. Entretanto esses dados necessitam quando espacializados nos SIGs, de um modelo de representação espacial.

Os SIG's vêm utilizando de forma crescente a informação de solos através da digitalização dos seus mapas convencionais. Esses mapas são espacialmente representados num conjunto de polígonos disjuntos cujos limites são precisamente definidos e armazenados nos SIG's de forma vetorial, ou seja, numa sequência de pontos identificados pelo vetor de coordenadas (x,y).

Esse procedimento reflete as hipóteses que sustentam os mapeamentos convencionais, em que a representação da variação contínua de múltiplas propriedades que compõem determinada classe de solo é feita em termos de igualdade de limites e na homogeneidade das suas variações espaciais em cada polígono que compõe o mapa. Desta forma as modificações substanciais destas propriedades são representadas como abruptas, só ocorrendo a partir de um limite estabelecido sem etapas intermediárias ou mudanças graduais.

Esta representação é uma excessiva simplificação da verdadeira natureza da variação do solo e, uma vez que essa informação armazenada de forma resumida comece a ser desagregada, para ser associada a outras variáveis ambientais uma significativa propagação de erros no produto gerado pode ser evidenciada (Arbia,1993; Fisher,1991; Goodchild *et al*, 1992).

A moderna tecnologia dos SIG's vem evoluindo no sentido de melhor representar o contínuo dos dados ambientais . O modelo de dados raster nos SIG's particiona o espaço em pequenos pixels que compõem uma grade regular, assim, quanto menor o pixel mais homogêneo e maiores são os esforços necessários de armazenamento . Nesse modelo a definição da resolução de uma grade depende do equilíbrio entre a capacidade de armazenamento dos SIG's e a

homogeneidade interna requerida pela escala da variabilidade espacial. Cada uma das propriedades consideradas tem um plano de representação possibilitando uma interpretação específica da distribuição espacial de cada uma dessas propriedades. O problema que se apresenta é o de definir o modelo para essa representação a partir dos dados disponíveis nos levantamentos uma vez que essa amostra não contempla todos os pontos definidos numa grade necessários na estrutura raster, e pontos não amostrados devem também ter os valores das propriedades de solos nesses locais determinados. Assim definido a representação raster esta intimamente ligada à interpolação espacial uma vez é necessário estimar a partir de uma amostra, valores de propriedades de solos em pontos não amostrados.

Procedimentos de interpolação espacial proliferaram com o advento do computador e dos processos digitais de armazenamento dos dados (Webster,1985); entretanto este desenvolvimento atinge seu apogeu com o aparecimento da teoria das variáveis regionalizadas (Matheron, 1971).

A utilização das técnicas de geoestatística em propriedades de solos, na inferência de pontos não amostrados (krigagem), é inicialmente apresentada em alguns trabalhos (Burgess & Webster 1980a,b, Webster & Burgess1980, Burgess, Webster & MacBratney 1981, Vieira et al. 1981 e Braga & Druck, 1993, 1994). Esses autores mostram a boa adequação dos interpoladores geoestatísticos aos dados de solos e consideram que a krigagem apresenta uma estrutura teórica desejável, condições favoráveis de implementação e uma estabilidade às variações amostrais.

Entretanto os procedimentos de mapeamento, em SIG's, necessitam não só de uma etapa inferencial mas posteriormente também de procedimentos classificatórios que usualmente se efetuam por lógica booleana. Esse procedimento apresenta as mesmas restrições e simplificações acima observadas, já que alocam ou não um ponto exclusivo a uma única classe não podendo representar as modificações graduais que ocorrem nos solos e na natureza. Novos procedimentos classificatórios mais adequados ao contínuo dos solos vêm começando a ser utilizados. A aplicação dos métodos de lógica "fuzzy" ou nebulosa nos mapeamentos possibilitam a definição de classes sem o estabelecimento de limites precisos e, por esta razão, mais adequados às mudanças graduais que ocorrem no solo. Alguns trabalhos (Chang & Burrough,1987; Burrough,1989 e de Burrough et al 1992) verificam a boa adequação dos procedimentos fuzzy quando aplicados a classes de aptidão de solos.

Assim uma alternativa para a representação espacial convencional dos mapas derivados de informações de solos baseiam-se na potência da computação moderna, na tecnologia de banco de dados que possibilita o armazenamento de informações pontuais georreferenciadas e nos procedimentos inferenciais e classificatórios da geoestatística e da lógica fuzzy respectivamente, (Ponce-Hernandez,1994).

Os procedimentos inferenciais de krigagem em propriedades de solos possibilitam a representação do modelo de variabilidade espacial que reflete a estrutura umbricada da formação dos solos, e seus algoritmos inferências utilizam não somente variáveis quantitativas como também outras formas de informação não-quantitativa, que representam uma grande parte dos dados de solos.

A classificação fuzzy se associa à krigagem no mapeamento, tornando possível a representação da continuidade dos solos através da identificação de pontos inter e extraclasses. Também a bibliografia recente (Heuvelink e Burrough,1993) vem mostrando a adequação da

teoria de propagação de erros aos procedimentos de geoestatística e a lógica fuzzy, e a associação de métodos inferenciais não paramétricos à definição de risco estocástico (Stein,1994), mostrando a importância desses modelos em sistemas que auxiliem a tomada de decisão e colocando o mapeamento convencional em discordância com a moderna tecnologia dos SIG's.

Dessa forma o trabalho desenvolvido nesse projeto se efetuou para que as observações organizadas no SIGSOLOS pudessem também ser utilizadas em mapeamentos ou propriedades do solo sejam elas qualitativas ou categóricas ou de qualidades do solo como a fertilidade e a drenagem, em que novos procedimentos como krigagem e lógica fuzzy pudessem ser utilizados e que uma integração entre esses procedimentos e o mapa de solos se efetuasse de forma a integrar ambas qualidades de informação. Assim objetivou-se:

- *comparar os resultados obtidos nos mapeamentos em SIG em que se utilizou krigagem e a classificação booleana e classificação fuzzy*

Verificando as operações que acentuavam a restrição de informação nos procedimentos convencionais dos Sigs . Um exemplo do trabalho realizado (Tuller, 1996) pode ser observado nas figuras 7 e 8 que apresentam respectivamente exemplos de mapeamentos de áreas aptas no que se refere a drenagem em que se utilizou ora a classificação booleana ora a fuzzy . Pode ser observado a perda de informação na figura 7 em que o mapa final derivado por interseção e lógica booleana apresenta a mesma configuração de um dos planos de informação desprezando os planos restantes

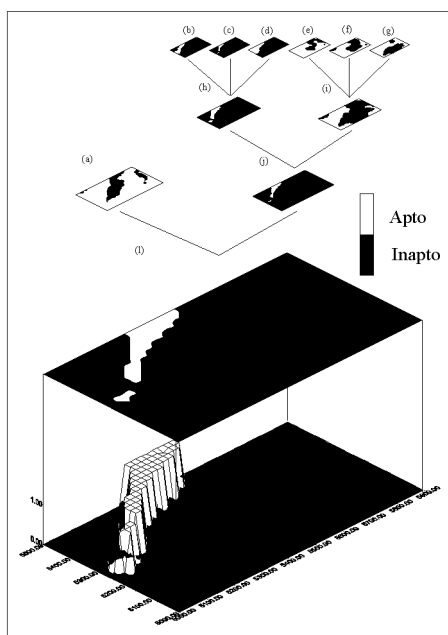


Figura 7

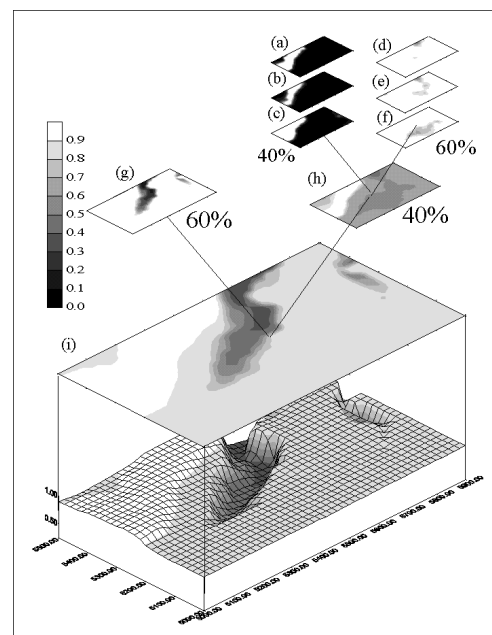


Figura 8

- *utilizar a classificação fuzzy nos zoneamentos agro-sócio econômicos*

Nesse caso foram adaptadas funções fuzzy em mapas derivados de mapeamentos convencionais obtendo-se melhores resultados do que quando se utilizam as técnicas convencionais e operadores booleanos.

- **implementar no *SPRING* procedimentos de geoestatística**

O módulo de geoestatística implementado no *SPRING*, (Camargo, 1997). teve como objetivo desenvolver procedimentos de interpolação em 2D. A integração ao SIG/*SPRING* possibilita que os resultados da krigagem possam se associar às informações convencionais estabelecidas nos mapas de solos, e que os recursos gráficos disponíveis num SIG possam ser utilizados para esse objetivo.

A série de procedimentos de estatísticas implementadas nesse módulo (figura 9) viabilizam a análise exploratória dos dados, estimação de estrutura de covariância espacial, procedimentos inferenciais e conversão ao modelo *SPRING*.

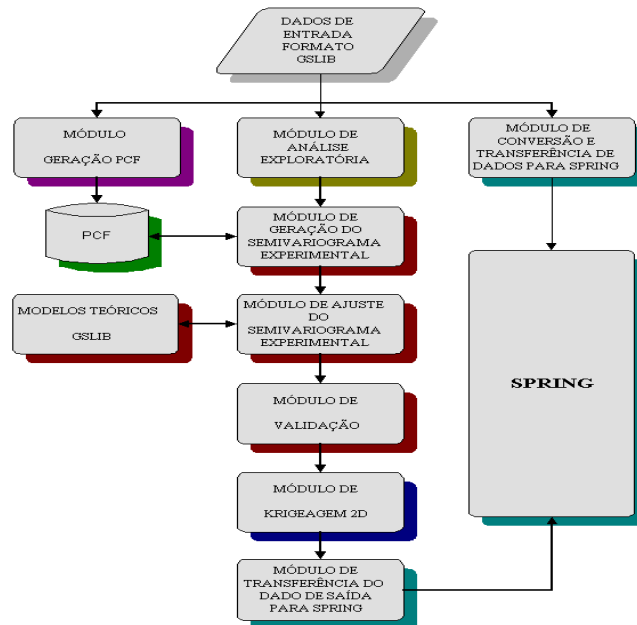


Figura 9

Uma aplicação desse módulo em propriedades de solos foi efetuada na região de Canchim, onde a continuidade da argila dificultou a discriminação dos polígonos do mapa de classe de solos. Foram efetuados mapas de argila : um por krigagem outro derivado do mapa de solos onde se puderam observar as regiões de concordância e discrepância das informações, figura 10 apresentada a seguir.

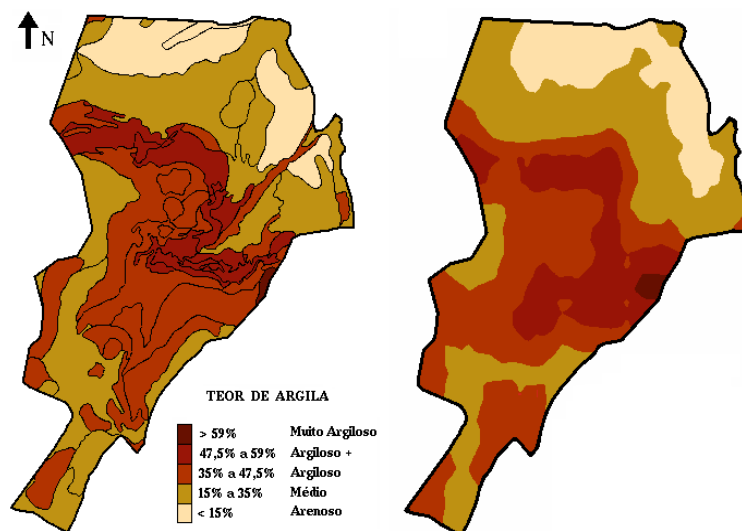


Figura 10

III-Novas Perspectivas Funcionalidades do Sistema de Informação de Solos

As funcionalidades tradicionais de um Sistema de Informação de Solos são as de recuperar para o usuário as informações e produtos armazenados. Entretanto, observou-se que a complexidade de questões requeridas hoje a pesquisa de solos não se esgotam nas informações tradicionais oferecidas pelos levantamentos. Nos últimos vinte anos a utilidade da informação de solos gerada pela pesquisa foi profundamente questionada (Zink ,1992) . Algumas causas são apontadas para esse fato, entre elas a falta de interface entre pesquisa - usuário, refletida pelo desinteresse dos planejadores da atividade agrícola na informação de solos; na apresentação inadequada dos resultados e na falta de comunicação entre cientistas de solos com outras áreas do pensamento científico, como por exemplo economistas etc. Também na última década houve significantes modificações na coleta, interpretação e disseminação de dados de solos. No que se refere a aquisição de dados de solos . Os novos instrumentos de análise fazem considerar que hoje os dados de solos derivam de quatro diferentes fontes . Isto é :

- 1-informações processadas por instrumentos de sensoriamento remoto, seja por fotografias aéreas, imagens de satélite, radar e imagens espectrais;
- 2-observações efetuadas no campo;
- 3-dados obtidos em análise de laboratórios; e
- 4-informações obtidas em sistemas especialistas e parâmetros obtidos nos resultados experimentais.

Hoje, da informação básica coletada no campo à informação requerida pelo usuário, cada vez mais se associam uma diversidade de novos procedimentos que objetivam extrair informações das novas fontes de dados .Entre essas, a incorporação de informações advindas do sensoriamento remoto e das tecnologias em informação, como os Sistemas Especialistas, Dataminig, etc, são avanços importantes (Zink, 1990).

A importância nas aplicações dessas novas fontes de dados variam de acordo com a escala e os propósitos do trabalho a ser efetuado. Assim, por exemplo, as informações sobre

classificação de solos derivam principalmente das fontes 2, 3 e 4, enquanto que as de aptidão das terras, das fontes 1,2,3 e 4.

Assim a proposta para um Sistema de Informações de Solos, concebida pelo Centro Nacional de Pesquisa de Solos, foi a de considerar a interdisciplinariedade necessária à elaboração da informação de solos, conceituando o sistema não somente quanto aos aspectos de organização dos dados de solos obtidos no campo e nos laboratórios, mas também no que se refere a associação de alguns procedimentos necessários à estruturação de dados de solos advindos de novas fontes. Também se faz necessário a utilização de metodologias de integração dessas informações a outras variáveis ambientais. A incorporação dessas tecnologias possibilitarão ao sistema atingir diversos níveis de usuários e cumprir diversas funcionalidades. Assim tendo-se encerrado a primeira fase do projeto em que a organização, integração e representação espacial foram relevantes, a continuidade se efetuará no sentido de

1. implementar os procedimentos para o controle da qualidade da informação gerada .

A informação de solos deve ser vista como um produto a ser utilizado pelos mais diversos tipos de usuários e estar submetido portanto a procedimentos de controle da qualidade no que se refere a acurácia dos mapas gerados desde a sua base cartográfica. Assim os procedimentos de representação espacial deverão ser implementados incorporando algoritmos de simulação estocástica ao modulo de geoestatística e de propagação de erros em modelos ambientais.

2. implementar funcionalidades que associem as diversas fontes de informação de solos objetivando apoiar as diversas atividades efetuadas pelo CNPS . Assim o SIGSOLOS deverá:

- auxiliar o desenvolvimento do Sistema de Classificação de Solos através do processamento dos dados de solos aos seguintes procedimentos :
 - a - utilização de funções programadas para seleção de arquivos de dados que possam ser exportados para processamento em pacotes estatísticos do tipo , SAS , S⁺ etc , de forma a determinar parâmetros quantitativos possíveis ao Sistema Brasileiro de Classificação .
 - b - utilização de procedimentos de Inteligência Artificial no que diz respeito a novas técnicas de descobertas de regras, datamining, para auxiliar o desenvolvimento da classificação de solos. Para essa finalidade um sistema especialista de classificação de solos com as regras vigentes está sendo associado ao SIGSOLOS. Através de perfis classificados e que corresponderão a exemplos positivos e negativos destas regras, isto é exemplos confirmadores ou não o Datamining deverá descobrir novas regras de forma a fechar o conhecimento.

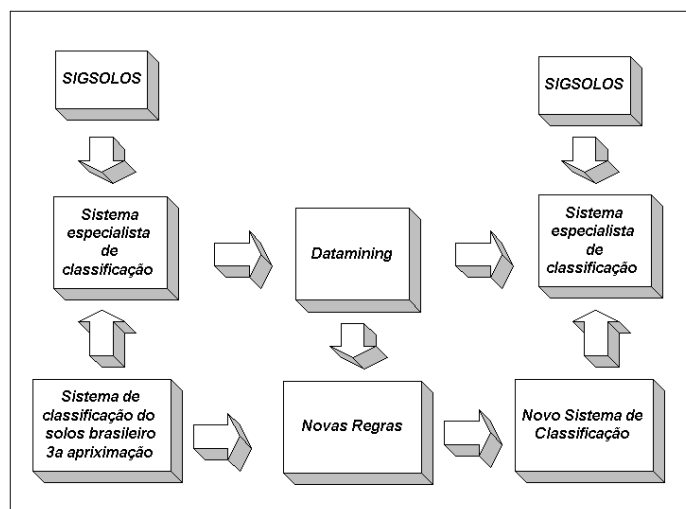


Figura 11

- auxiliar o tratamento da Aptidão Agrícola dos Solos uma vez que o uso potencial do solo é uma informação derivada das informações que se efetuam nos levantamentos e que estão armazenadas e de fácil recuperação no SIGSOLOS. O tratamento da aptidão se realizará através de um sistema especialista. Esse deverá ser associado ao SIGSOLOS no sentido de classificar perfis quanto a sua aptidão através de regras estabelecidas pelo CNPS. Uma vez classificado cada ponto amostral, o mapa de aptidão será gerado segundo o modelo de espacialização escolhido. Seja o tradicional ou por krigagem não paramétrica ou por simulações em que a propagação de erros deve ser considerada. Uma vez espacializado, serão incorporado, ao sistema informações sócio econômicas. Entretanto para que o sistema possa realmente fornecer respostas aos planejadores e executores da produção agrícola, ou seja, a um grupo mais amplo de usuários o sistema especialista deverá interagir também com outras fontes de informações. Assim a integração com imagens de satélites possibilitará o confronto uso atual versus potencial dos solos e a estruturação de uma nova qualidade de informação, que é o uso potencial do solo considerando o seu uso atual; dessa forma, áreas de instabilidade e a determinação de indicadores de sustentabilidade indicarão áreas de maior ou menor vulnerabilidade do solo .
- Possibilitar a geração de mapeamentos utilitários através do SIGSOLOS pois o sistema foi dimensionado para representar espacialmente suas informações no SIG/SPRING, tanto através dos procedimentos convencionais como também pela associação de procedimentos que considerem a variabilidade espacial dessa informação com a utilização da geoestatística e de lógica fuzzy.
A integração dos mapas convencionais digitalizados no SIGSOLOS aos novos modelos de mapeamento busca otimizar a utilização da informação de solos. Essa associação incrementa ambos os procedimentos. Os mapas convencionais de solos tem informações de importância para os procedimentos de geoestatística (Stein, 1994), pois detetam aspectos da distribuição das propriedades de solos observadas nos levantamentos e na paisagem da região, como locais de descontinuidade, influência da topografia etc e os novos procedimentos de mapeamento, alicerçados na variabilidade espacial das propriedades de solos podem melhor definir as regiões de fronteira e as modificações graduais que existem. Assim o SIGSOLOS possibilita a recuperação da informação digitalizada no mapa de solos e da base de dados georreferenciada

de propriedades de solos, que associada ao SPRING possa gerar mapas originados por diversos procedimentos.

Bibliografia

- Arbia, G** (1993) *The use of GIS in Spatial Statistical Surveys* . International Statistics Review 61, 339-359.
- Assad, E. D.**,(1994). *Chuva no cerrados: análise e espacialização*. Brasília: EMBRAPA/SPI, 1994., 422 pg.
- Baca, J. M. et al.** (1997) *Funcionalidade da interface de entrada de dados do sistema de informações geo-referenciadas de solos*. XXVI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Rio de Janeiro, 1997.
- Bhering, S. B.** (1995) *Sistema de Informação de Solos. Diretrizes para o desenvolvimento*. Dissertação de mestrado em Informações Espaciais. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 1995, 167pg.
- Bhering, S. B.** (1997) *Sistema de Informação de Solos. Diretrizes para o desenvolvimento*. XXVI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Rio de Janeiro. 1997.
- Braga, L e Druck, S**(1993) *Analysis of Soil Properties by Geoestatistical Methods* . Geoestatistical for Next Century . An International Forum in honor of Michel David's contribution to Geoestatistics. Forum Proceedings June 3-5, Montreal , Quebec , Canada
- Braga , L & Druck, S** (1994) *Analysis of Soil Fertility by Geoestatistics and Fuzzy Methods* . In: International Congress of International Association of Mathematical Geology , Montreal , Canada. Proceedings (SI:SnD)
- Burges,T.M. and Webster,R** (1980a). *Optimal interpolation and isarithmic mapping I. The semivariogram and punctual kriging* . Journal of Soil Science 31 , 315-332
- Burges,T.M and Webster,R** (1980b). *Optimal interpolation and isarithmic mapping II. Block kriging* Journal of Soil Science 31 , 333-348
- Burges,T.M., Webster,R. and MacBratney,A.B** (1981) *Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties.IV Sampling strategy* . Journal of Sois Science 32,643-659.
- Burrough, P.A.** (1989) *Fuzzy mathematical methods for soil survey and land evaluation*. Journal of Soil Science 40,477-492.
- Burrough , P.A** (1992) *The tecnologic paradox in soil survey : new methods and techniques of data capture and handling , Soil Survey : Perspectives and Strategies for the 21st century* . ITC publication . Number 21

Chang, L & Burrough ,P.A (1987) Fuzzy Reasoning . *A new Quantitative Aid for Land Evaluation* . Soil Survey and Land Evaluation 7, 69-80

Camargo , E. C. G. (1997) *Módulo de Procedimentos Estatísticos para Sistemas de Informações Geográficas baseado em técnicas de krigagem* . Dissertação de Mestrado em sensoriamento Remoto , INPE, 1997

Heuvelink. G.B. M. ;Bourough,P.A. and Stein . A (1989) *Propagation of errors in spatial modelling with GIS* . Int J GIS 3, pp303/322.

Roo, A de , Hazelhoff , L and Heuvelink , G.B.M. (1992) *Estimating de effects of spatial variability of infiltration on the output of a distributed runoff and soil erosion model using Monte Carlo methods* Hydrological Process 6pp 127-143

Goodchild, M.F; Guoqing,S and Shiren ,Y (1992). *Development and test of an error model for categorical data* . International Journal of Geographical Information Systems 6, nº2 87-104

Fisher , P.F. (1991) *Modelling soil-map inclusion by Monte Carlo simulation* . International Journal of Geographical Information Systems, 5,193-208.

Matheron , G (1971) . *The Theory of regionalize variables and its applications* . Cahiers du Centre de Morphologie Mathématique No 5

Ponce-Hernandez,R (1994) *Improving the Representation of Soil Spatial Variability in Geographical Information Systems : A Paradigm Shift and its Implications* In : World Congress of Soi Science 15th Transactions J.S.S.S. . Acapulco , México V6 780-800

Stein . A. Hoogerwerf, M. Bouma, J (1988). *Use of soil map delineation to improve (co)-kriging of point data on moiture deficits* . Geoderma 43, 163-177.

Stein, A (1994) *Regionalized variable theory and geoestistics for modelling an representing soil spatial variability in GIS*. World Congress of Soi Science 15th Transactions J.S.S.S. . Acapulco , México V6 699-717

Tanaka, A K. et. al. (1997) *Banco de dados do sistema de informações geo-referenciadas de solos*. XXVI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Rio de Janeiro. 1997.

Tuller , M.O (1996). *Desenvolvimento de modelo de mapeamento para determinação de áreas aptas em função de perfil do solo e da topografia , Comparando a classificação fuzzy e booleana*. Dissertação de Mestrado do setor de cartografia do IME

Vieira ,S.R., Nielsen ,D.R. and Beggar,J.W. (1981) *Spatial Variability of field measured infiltration rate* . Soil Sci. Soc. Am 45:1040-1048.

Webster, R. (1985) *Quantitative Spatial Analisis of Soil in the Field* . Advances in Soil Science 3: 2-70

Webster, R. & Burges , T.M.(1980) *Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties III. Changing drift and universal kriging* .Journal of Soil Science 31:505;524.

Zink, J. A (1990) *Soil Survey : epistemology of a vital discipline* , ITC Journal , 335-351.