

## **CAPÍTULO 3**

### **MATERIAIS**

As inferências espaciais basearam-se na aplicação de um modelo de prospecção aplicado em um banco de dados espaciais, através de técnicas de geoprocessamento. O banco de dados foi manipulado no SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas), sistema de informação geográfica (SIG) baseado num modelo de dados orientado a objeto, do qual são derivados sua interface de menus e sua linguagem espacial LEGAL.

Todos os modelamentos desenvolvidos neste trabalho (com exceção do modelo segundo teoria de redes neurais) foram desenvolvidos no SPRING. O modelamento por Redes Neurais utilizou, além do SPRING, o programa de simulação de Redes Neurais Artificiais SNNS (Stuttgart Neural Network Simulator), para execução do processamento do banco de dados.

Neste capítulo pretende-se descrever a área de estudo, o Complexo Alcalino de Poços de Caldas, o banco de dados espaciais utilizado, bem como apresentar algumas das definições dos sistemas utilizados: SPRING, linguagem de álgebra de mapas LEGAL e o simulador SNNS.

#### **3.1 ÁREA DE ESTUDO**

O maciço Alcalino de Poços de Caldas foi usado como área-teste para a aplicação das metodologias de integração e análise espacial dos dados. Essa escolha foi motivada pela disponibilidade de uma base de dados em formato digital, adequada a estudos metodológicos de análise espacial.

Pesquisas para minerais radioativos no complexo alcalino de Poços de Caldas tiveram início em 1952, com os trabalhos executados pelo Conselho Nacional de Pesquisa (Tolbert, 1966). Esse interesse gerou uma boa base de dados de campo e estudos (Ellert, 1959; Tolbert, 1966; Oliveira, 1974; Almeida e Paradella, 1977; Ulbrich, 1984; Fraenkel et al., 1985; Almeida Filho, 1995). A seguir será

apresentado um resumo sobre as características geológicas gerais do maciço de Poços de Caldas e do banco de dados disponível.

### 3.1.1 Características Gerais

O platô de Poços de Caldas localiza-se na divisa dos estados de Minas Gerais e São Paulo, a aproximadamente 300Km da cidade de São Paulo (Figura 3.1). O maciço, de formato aproximado circular, possui uma área aproximada de 750Km<sup>2</sup>, com diâmetro de cerca de 35Km. A altitude média do platô gira em torno de 1300m, bordejado por diques anelares de 1500 a 1650m de altitude.

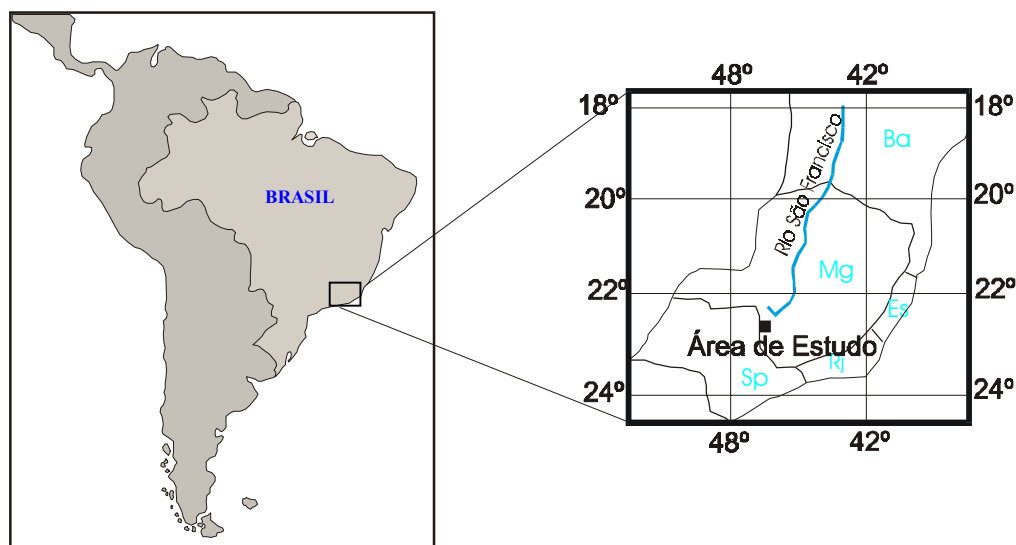


Fig. 3.1 – Localização da área de estudo.

A cidade de Poços de Caldas, com aproximadamente 110.000 habitantes, no limite norte da cratera, é um importante centro hidrotermomineral do Brasil, também com importantes atividades de mineração de bauxita e argila.

### 3.1.2 Geologia

O maciço de natureza intrusiva tem como rochas mais abundantes nefelinas-sienitos (tinguaítos, fonólitos, foiaítos) de idade Mesozóica-Cenozóica. O embasamento cristalino apresenta rochas Arqueanas, constituídas na maioria por gnaisses, migmatitos e granulitos, conforme mapa litológico da Figura 3.2.

Os diversos tipos litológicos de origem alcalina podem ser subdivididos em três grupos principais: - brechas, tufos e aglomerados; - rochas efusivas e hipabissais; e – rochas plutônicas (Fraenkel et al., 1985). Brechas, tufos e aglomerados correspondem ao material vulcânico aflorante na porção noroeste do maciço. As rochas efusivas e hipabissais são representadas por fonólitos e tinguaitos respectivamente. As rochas plutônicas são constituídas por foiaítos e por lujaritos, ocorrendo também chibinitos em menor proporção.

Outro aspecto litológico importante é a existência de uma “rocha potássica”, resultante da alteração por processos hidrotermais e de intemperismo do tinguaito (Fraenkel et al., 1985), a qual constitui importante controle das mineralizações uraníferas no maciço.

### **Aspectos estruturais**

O complexo alcalino apresenta dois grandes sistemas de falhamentos, com direções predominantes em N60W e N40E, estando o primeiro relacionado com a tectônica regional e o segundo com o processo formador da caldeira (Fraenkel et al., 1985). Almeida Filho e Paradella (1977), através da interpretação de imagens Landsat, identificaram existência de 7 estruturas circulares no interior da caldeira de Poços de Caldas, possivelmente associadas à presença de cones vulcânicos (Figura 3.3). A presença de várias ocorrências minerais radioativas ao longo das bordas dessas estruturas, levou aqueles autores a considerarem que estas feições constituíram controle estrutural dessas mineralizações.

### **Evolução do maciço**

O complexo alcalino teve as primeiras manifestações no Cretáceo Superior (87m.a.) e evoluiu através de fases sucessivas até ano 60 m.a.. Estudos realizados por Ellert (1959) reconhecem 6 fases na formação do complexo alcalino: 1) soerguimento do embasamento; 2) atividades vulcânicas; 3) formação de caldeiras; 4) atividade magmática alcalina; 5) formação dos diques anelares; 6) intrusões de foiaítos, chibinitos e lujaritos.

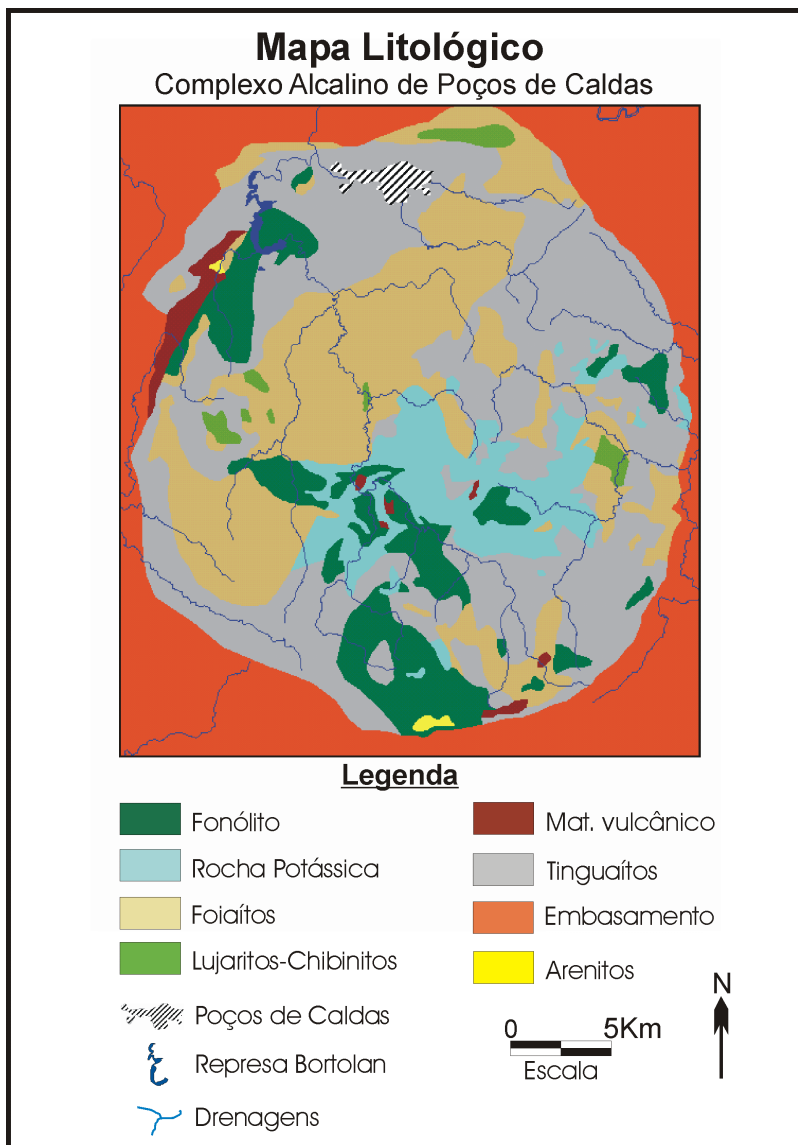


Fig. 3.2 – Mapa litológico do maciço de Poços de Caldas.

FONTE: Nuclebrás (1975a).

### Mineralizações

As mineralizações radioativas do maciço alcalino podem ser agrupadas em três associações: urânio-zircônio, tório-terras raras e urânio-molibdênio (Tolbert, 1966; Fraenkel et al., 1985). Os indícios e mineralizações conhecidos no maciço estão indicados no mapa da Figura 3.4.

As associações urânio-zircônio constituem as mineralizações mais comuns, ocorrendo como depósitos aluviais, eluviais e como veios e lentes. As associações tório-terras raras representam o segundo tipo de mineralizações radioativas do maciço sendo o depósito de Morro de Ferro o mais significativo (Tolbert, 1966). As mineralizações urânio-molibdênio estão associadas à superposição de eventos tectônicos, hidrotermais e meteóricos, ocorrendo como faixas ou como corpos lenticulares, encaixadas em foiaitos e tinguaitos hidrotermalizados.

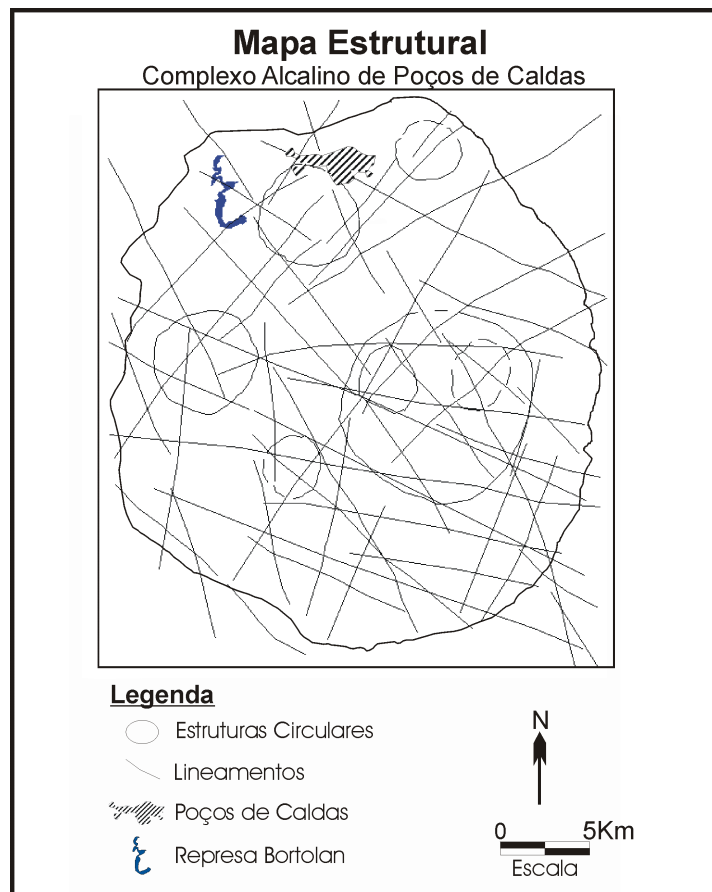


Fig. 3.3 – Mapa de lineamentos estruturais e estruturas circulares do maciço de Poços de Caldas.

FONTE: Adaptado de Almeida Filho (1995).

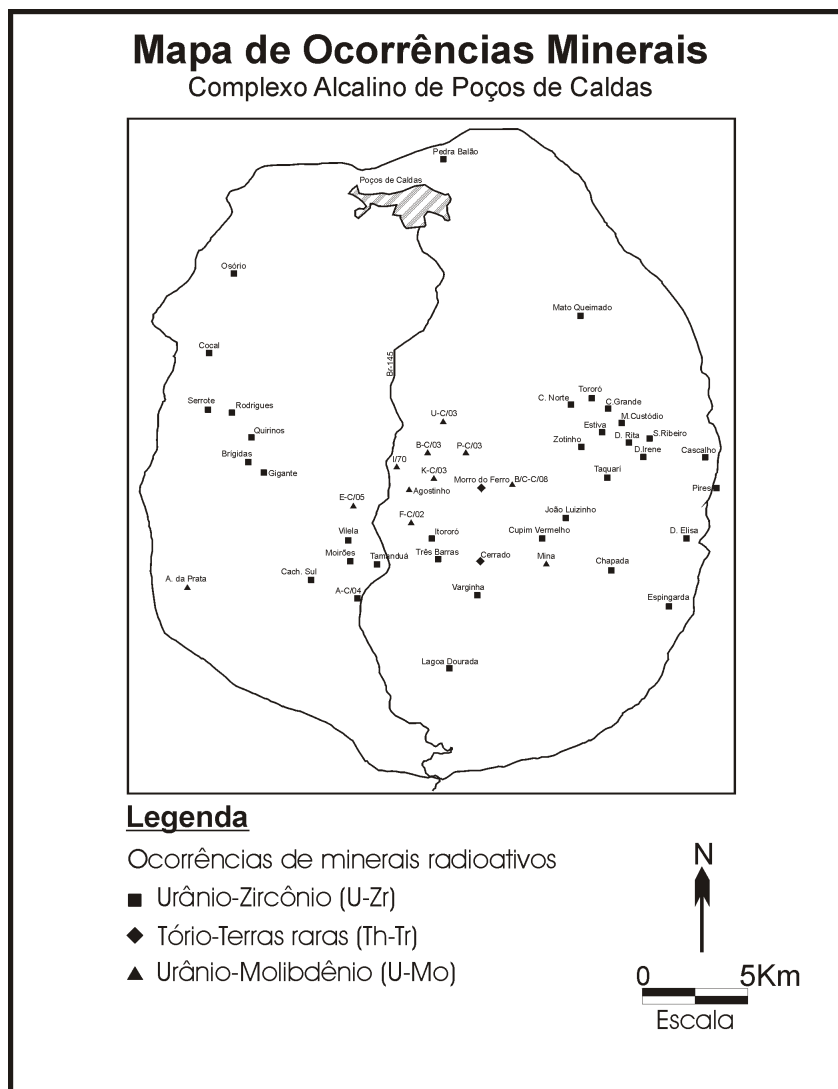


Fig. 3.4 – Ocorrências de minerais radioativos no planalto de Poços de Caldas.

FONTE: Nuclebrás (1975b).

### 3.1.3 Modelo Prospectivo

Para a representação espacial e análise das informações relevantes sobre um alvo a ser pesquisado, Rostirolla (1997) propõe a definição das seguintes atividades: - mapear a área e construir o banco de dados georreferenciado; - estudar os depósitos conhecidos para a elaboração do modelo de depósito; - montar o modelo genético e caracterizar as variáveis diagnósticas (evidências); - definir os ponderadores para cada variável diagnóstica; - integrar os mapas

ponderados; - construir os mapas de potencialidade; e – analisar os resultados e a eficiência do sistema de avaliação.

De acordo com as etapas propostas pelo autor acima, a etapa fundamental consiste na definição do modelo prospectivo a ser adotado para a área de estudo. O poder explicativo do modelo proposto depende fundamentalmente do conhecimento geológico prévio da área de estudo, que permitirá a seleção dos critérios diagnósticos mais importantes para a “alimentação” do modelo. No caso particular da área de estudo, os critérios diagnósticos (evidências) mais importantes a ser considerados são características geológicas da área (litologia, estruturas e presença de anomalias radioativas). Tais parâmetros podem definir isolada ou conjuntamente, sítios potenciais à ocorrência dos minerais de interesse.

Almeida Filho (1995) relata a dificuldade da elaboração de um modelo prospectivo para o maciço de Poços de Caldas, devido à alta complexidade dos fenômenos envolvidos no processo formador do complexo alcalino e das mineralizações associadas. O processo envolve aspectos tectônicos, estruturais, litológicos e intempéricos, com particularidades de região para região. Entretanto, aquele autor identifica algumas características comuns às ocorrências minerais no maciço alcalino, as quais foram preliminarmente assumidas como critérios diagnósticos à pesquisa de minerais radioativos:

**litologias favoráveis:** presença de controles litológicos representados por rochas potássicas, lujaritos/chibinitos, material vulcânico, e corpos intrusivos de foiaftos;

**falhamentos/fraturamentos:** presença de falhas e fraturas, condicionando o alojamento de veios e lentes mineralizados;

**estruturas circulares:** presença de cones vulcânicos no interior da cratera, condicionando a ocorrência de mineralizações radioativas em suas bordas;

**gama-radiometria:** presença de valores anômalos de radioatividade total, indicativa da presença de minerais radioativos.

Desse modo, o modelo prospectivo para a definição de áreas potenciais à ocorrências de minerais radioativos baseia-se em três pontos: dados gama-radioativos, litologias favoráveis e feições estruturais.

### 3.2 BANCO DE DADOS ESPACIAIS

As informações relevantes ao processo de inferência espacial foram extraídas do banco de dados digitais geocodificados (BDDG) construído por Almeida Filho (1995) no ambiente dos sistemas SITIM (Sistema de Tratamento de Imagens) e SGI (Sistema de Georreferenciado de Informação), desenvolvidos pelo INPE .

Os planos de informação de interesse foram migrados para o ambiente SPRING, onde foram realizadas todas as edições e processamentos necessários para a execução das análises multi-critério com vistas a definir cenários potenciais à ocorrência de minerais radioativos.

Os dados utilizados estão apresentados na Tabela 3.1, onde estão explicitados os formatos e respectivos atributos.

**TABELA 3.1 – TIPOS, FORMATOS E ATRIBUTOS DOS DADOS**

<b>Dados</b>	<b>Formatos</b>	<b>Atributos</b>
Cidade, principais drenagens	Vetorial	Infra-estrutura
Mapa Litológico	Vetorial e matricial	Informações litológicas
Contatos litológicos	Vetorial e matricial	Zonas de contatos
Gama-radiometria	Vetorial e matricial	Radioatividade (contagem total)
Feições estruturais	Vetorial	Falhas/fraturas e estr. circulares
Ocorrências minerais	Vetorial	Verdade de campo

Adaptada de Almeida Filho (1995).

As principais características dos planos de informação são descritas a seguir:

**Dados planimétricos** – indicação da cidade de Poços de Caldas, principais drenagens e barragens. Essas entidades foram digitalizadas a partir das folhas descritas anteriormente.

**Dados litológicos** – As unidades litológicas foram digitalizadas a partir do mapa geológico do maciço alcalino (Nuclebrás, 1975a) (Figura 3.2).

**Dados gama radiométricos** – os dados radiométricos foram coletados pela Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN, através de aerolevanteamento com helicóptero e caminhamentos. Nos levantamentos com helicóptero os dados foram coletados em malhas de 250x250m, enquanto os dados coletados no terreno foram em malha de 75x250m. Estes dados de radiatividade total encontravam-se integrados no “mapa radiométrico do planalto de Poços de Caldas” (NUCLEBRAS,1975c), subdivididos em 5 classes de intensidade radioativa, em relação a um *background* regional de 40 unidades (background - 1,3; 1,3-1,8; 1,8-2,5; 2,5-3,5; 3,5 - background)(Figura 3.4).

**Dados estruturais** – Os dados estruturais foram obtidos através da interpretação de imagens multiespectrais (MSS) realizada por Almeida Filho (1995). Eles foram subdivididos pelo autor em feições lineares e feições circulares. As estruturas circulares identificadas correspondem a sete feições no maciço alcalino, interpretadas como associadas a edifícios vulcânicos no interior da cratera (Almeida Filho e Paradella, 1977).

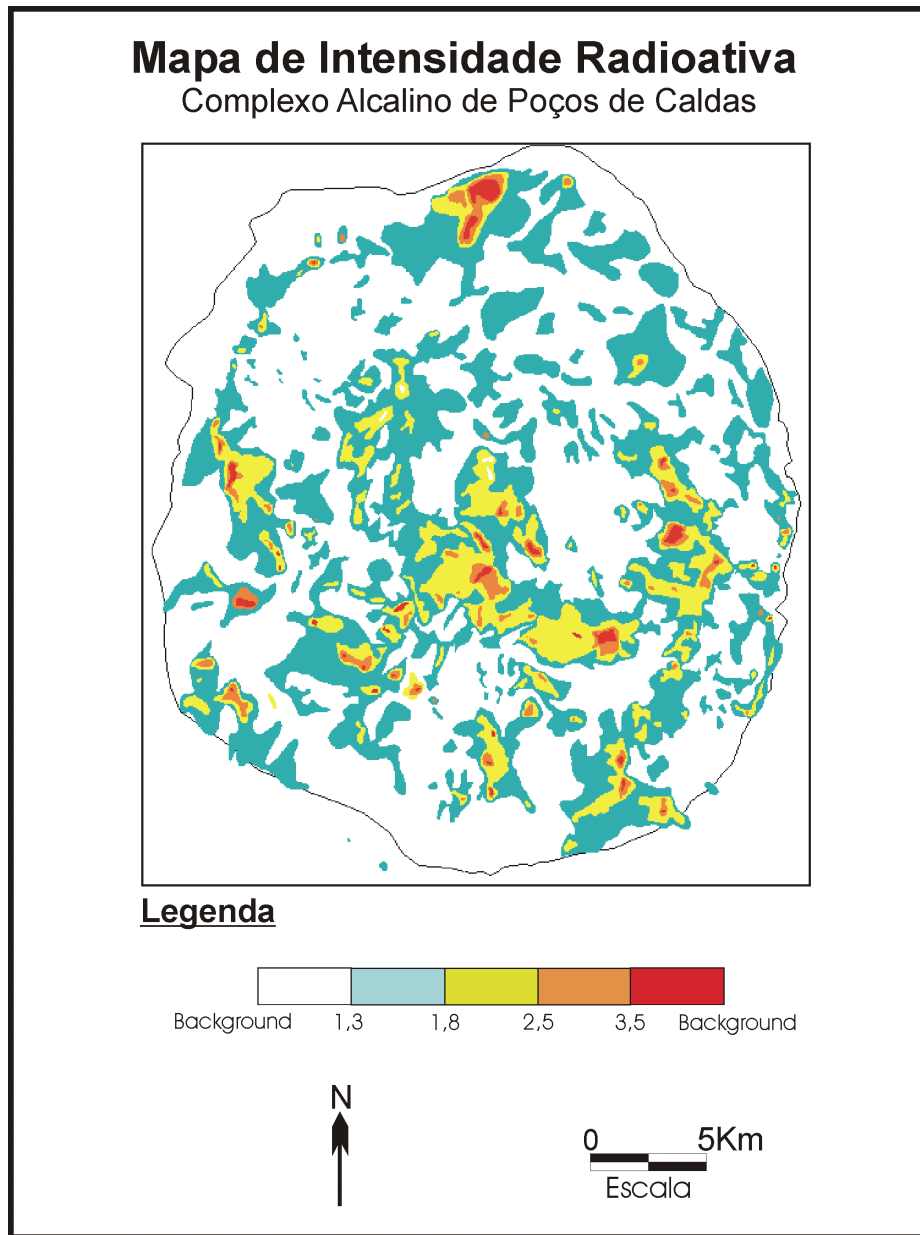


Fig. 3.5 – Mapa de intensidade radioativa total do planalto de Poços de Caldas.

FONTE: Nuclebrás (1975c).

### 3.3 SUPORTE COMPUTACIONAL UTILIZADO

Dois sistemas foram usados no presente estudo: SPRING e SNNS. O SPRING é um SIG de 2<sup>o</sup> geração, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. No seu modelo conceitual um banco de dados corresponde fisicamente a um diretório onde são armazenados suas definições de categoria e

classe e os projetos pertencentes ao banco. Os projetos são armazenados em subdiretórios juntamente com seus arquivos de dados (pontos, linhas, imagens orbitais e aéreas, imagens temáticas, textos, grades e objetos).

O dados espaciais devem ser representados no esquema conceitual do SPRING como geo-campos ou geo-objetos. O geo-campo representa a distribuição espacial de variáveis que possuem valores em todos os pontos pertencentes a uma região geográfica, podendo ser especializado em modelos: temático, numérico e imagem. O geo-objeto representa um elemento único que possui atributos não espaciais e está associado a múltiplas localizações geográficas.

O SPRING provê um ambiente de trabalho amigável e poderoso, através da combinação de menus e janelas com uma linguagem espacial denominada LEGAL – Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico (Câmara, 1996). É facilmente programável pelo usuário, possibilitando a realização de análises espaciais através de álgebra de mapas. A análise espacial utiliza atributos espaciais e não espaciais das entidades gráficas armazenadas na base de dados espaciais, para fazer análises e simulações sobre fenômenos do mundo real.

A estrutura de um programa em LEGAL é composta de três partes: declaração, instanciação e operação. Na “declaração” são definidos os dados, onde cada plano de informação (PI) a ser manipulado é associado a uma variável de determinada categoria definida no esquema conceitual. A “instanciação” consiste nas manipulações de banco de dados, onde PI’s são recuperados ou criados dependendo dessas manipulações. Na “operação” são realizadas as operações de álgebra de mapas (transformação, *booleana*, matemática, classificação contínua, vizinhança, reclassificação por atributos). No Anexo I estão apresentados os programas em LEGAL construídos para execução dos procedimentos necessários para a aplicação das diferentes técnicas de inferência espacial, usadas neste estudo.

O outro pacote utilizado, o SNNS, é um programa de simulação de redes neurais artificiais, desenvolvido pelo Institute for Parallel and Distributed High Performance Systems - IPVR da Universidade de Stuttgart.

O simulador é composto por 4 componentes principais: simulador central, interface de usuário gráfica, interface de execução em grupo e compilador de rede SNN2C. Uma de suas características mais importantes é a interface gráfica que permite que usuários inexperientes possam aprender e desenvolver modelos conexionistas com o auxílio do simulador, de modo que o desenvolvimento de redes neurais complexas seja fácil e rápido (Zell et al., 1999).