

# 1 Introdução e justificativa

## 1.1. Contexto e relevância da tese

A interação do meio ambiente com as atividades agrícolas e industriais foi tema central na Agenda 21 (UNCED, 1992), um documento assinado durante a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento no Rio de Janeiro, Eco 92, e referendado (UNCED, 2002) na Conferência Rio+10 realizada em Joanesburgo, onde se consolidou o conceito de desenvolvimento sustentável como o mais importante paradigma para as sociedades do terceiro milênio. De acordo com a Agenda 21, a fim de possibilitar o aproveitamento racional dos recursos naturais, é necessário um criterioso planejamento ambiental, pois a adequação das interferências antrópicas às características dos ecossistemas pode levar à manutenção de sua integridade ecológica e, portanto, de sua sustentabilidade e resiliência <sup>1</sup>.

Por outro lado, freqüentemente, os tomadores de decisão se defrontam com incertezas quanto à adequação de um determinado procedimento de recuperação à região que necessite de intervenção preservacionista. Portanto, há forte demanda por conhecimento que subsidie o planejamento e o monitoramento de intervenções de recuperação ambiental; Declaração de Brasília para a Educação Ambiental (ICNEA, 1997). Como exemplo do trabalho de produção de conhecimento pode ser mencionado o de Rodrigues (2000), que apresenta o saber acumulado em diversas áreas – geomorfologia, solos, hidrologia, vegetação e fauna – refletindo sobre sua aplicação para a adequação das ações referentes à conservação e à recuperação das matas ciliares.

Em termos de florestas, ecossistemas, áreas produtivas e espaços urbanos, o sensoriamento remoto provê ferramentas capazes de monitorar grandes áreas da

<sup>1</sup> A constância dentro de um ecossistema, mantida por forças internas, é denominada equilíbrio ecológico. As forças internas são resultantes de complexas relações entre os organismos e o meio físico. Alterações nestas inter-relações, causadas direta ou indiretamente pelo homem, podem afetar o equilíbrio ecológico. O termo *resiliência* corresponde a capacidade de um ecossistema manter seu equilíbrio em resposta à ocorrência de tais perturbações.

superfície da terra (Cowell, 1983). De fato, sensoriamento remoto, em conjunto com os pacotes de software para a análise de imagem, são os mais importantes recursos tecnológicos para aquisição e extração de informação geoespacial (Ehlers, 2002). Esta tecnologia pode exercer um papel fundamental na gestão dos recursos naturais. Por exemplo, comparando imagens de sensores remotos de uma mesma área em datas diferentes ao longo do tempo é possível detectar mudanças na cobertura do solo e localizar regiões onde o processo de degradação natural ou devido à interferência humana está ou esteve atuando (Krug, 1999). Portanto, além de viabilizar o acompanhamento eficiente das intervenções preservacionistas, posto que simplifica a avaliação dos efeitos das medidas de proteção, o uso de técnicas de sensoriamento remoto possibilita a detecção do início de novos processos de degradação, que é essencial para a fiscalização, preservação e recuperação dos ecossistemas afetados.

O monitoramento do uso do solo possui inúmeras aplicações (Asrar, 1990; Joseph, 2003; Novo, 1989), dentre as quais: a fiscalização de reservas ambientais; o estudo da interação entre o meio ambiente e atividades agropecuárias; e o planejamento urbano. Entretanto, independentemente da aplicação em questão, o monitoramento do uso do solo pode ser realizado de forma mais eficiente através do uso de imagens obtidas por sensores remotos. As principais razões para esta afirmação são o fato desta tecnologia permitir o acompanhamento de grandes áreas sem porventura necessitar de extenso trabalho de campo.

Segundo os incisos VI e VII do artigo 23 da Constituição Federal do Brasil (1988), é competência comum da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios, proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer de suas formas, bem como preservar as florestas, a fauna e a flora. Cabe, portanto, a todos os níveis de governo a responsabilidade pelo controle dessas alterações em benefício da sociedade. Porém, para um efetivo monitoramento é necessário desenvolver sistemas computacionais amigáveis que tornem possível, sem a necessidade de intenso treinamento, a utilização do sensoriamento remoto por técnicos do poder público.

De fato, têm sido desenvolvidos muitos programas de computadores que incorporam os últimos avanços em sensoriamento remoto. Apesar disso, o processo de análise de imagens depende ainda hoje de ações não automáticas realizadas por um foto-intérprete, de modo que o processo de interpretação como

um todo permanece fortemente dependente da intervenção humana. Este problema deve-se à qualidade dos dados em si, à inadequação da estrutura das imagens à estrutura espacial das classes de ocupação do solo e a limitações dos métodos usuais para produção de cartografia temática (Caetano, 2002).

Considerando simultaneamente a extensão das áreas sob risco ambiental, a periodicidade mínima necessária para o acompanhamento efetivo dos processos de degradação e as limitações dos métodos usuais para produção de cartografia temática, aliados ao recente e considerável crescimento do número de imagens disponíveis, fica clara a necessidade do desenvolvimento de técnicas robustas para a extração dos objetos de interesse (Blaschke, 2000) e subsidiar a análise automática destas imagens (Carrion, 2002).

Do ponto de vista da tecnologia atualmente disponível, considerando os algoritmos de processamento de imagens convencionais, nota-se que em tais imagens os resultados produzidos são em sua maioria incompletos, fragmentados e até mesmo errôneos, necessitando, conseqüentemente, num passo posterior, serem verificados e validados. Por outro lado, existe um número crescente de regiões representadas em Sistemas de Informação Geográfica, SIG, contendo inúmeras informações adicionais que podem simplificar e acelerar a análise automática de imagens de sensores remotos.

Idealmente, os objetos presentes no SIG poderiam ser extraídos automaticamente de dados provenientes de sensores remotos a fim de atualizar os próprio SIG. Entretanto, apesar de terem sido obtidos avanços neste processo, ainda nos encontramos muito distantes de sua plena automatização (Förstner, 1997).

Na maioria dos casos práticos, foto-intérpretes empregam sua experiência e informações adicionais a fim de corrigir as inconsistências produzidas pelos algoritmos de processamento de imagem convencionais. Contudo, com o recente aumento da demanda, dado o longo tempo gasto para a interpretação visual, é necessário desenvolver tecnologia capaz de aumentar o grau de automação da interpretação visual, melhorando a produtividade dos foto-intérpretes.

Na solução deste problema, pode ser empregado um ambiente computacional de alto nível no qual possa ser modelado explicitamente o conhecimento que um foto-intérprete faz uso ao executar os algoritmos de processamento de imagem e corrigir as inconsistências dos resultados. Para isso, a

experiência do foto-intérprete necessita ser formalizada explicitamente numa base de conhecimento. Segundo Baltsavias (2004), um aspecto importante para o uso de conhecimento reside em representá-lo de forma a permitir sua utilização e manipulação por computador.

Contudo, a maioria dos softwares comercialmente disponíveis para a interpretação de imagens de sensores remotos carece de uma estrutura de alto nível capaz de automatizar o processo de interpretação. Tal estrutura poderia suprir a necessidade de aumento da produtividade dos foto-intérpretes.

Conforme será apresentado mais detalhadamente no capítulo 2, grande esforço vem sendo realizado no sentido de empregar conhecimento específico para a interpretação de imagens. Entretanto, até o presente momento, raras das incursões neste tema foram aplicadas a imagens de satélite de baixa resolução.

Por outro lado, o custo de imagens aéreas ou de satélite de alta resolução como o IKONOS, tendo em vista a dimensão dos ecossistemas sob ameaça no Brasil considerando sua utilização para o monitoramento das áreas de interesse é, ainda, muito elevado, constituindo um obstáculo a sua utilização.

Com motivação nestas demandas, este trabalho se concentra na questão da interpretação automática de imagens de satélite de baixa resolução, muito menos custosas do que as imagens aéreas ou de satélite de alta resolução.

Como base de dados para validação da metodologia aqui proposta, serão utilizadas imagens de duas regiões da Alta Bacia do Rio Taquari a leste do pantanal mato-grossense. A motivação para o interesse específico nestas regiões vem do elevado grau de degradação causado pela conversão dos ecossistemas de cerrado em pastagens cultivadas. A erosão e o assoreamento resultante do rio Taquari é uma ameaça a regulação hidrológica do Pantanal, com riscos a sua fauna e flora.

Esta tese faz parte de um projeto conjunto (ECOWATCH), envolvendo a PUC-Rio, a UERJ, a Embrapa Solos e a Universidade de Hannover, mais especificamente o Instituto de Engenharia Elétrica e Tecnologia da Informação e o Instituto de Fotogrametria e Geoprocessamento. O projeto é apoiado pelo programa PROBRAL, gerido pela CAPES em conjunto com o DAAD, o que possibilitou que boa parte desta pesquisa fosse realizada na Universidade de Hannover sob orientação do professor Claus-Eberhard Liedtke.

## 1.2. Objetivo desta tese

Esta pesquisa investiga a representação explícita de conhecimento específico, visando o desenvolvimento de um modelo para a interpretação de imagens de baixa resolução, adquiridas por satélite.

O termo *conhecimento específico* se refere, aqui, não somente às tecnologias subjacentes - sensoriamento remoto e processamento de imagem -, mas a todo e qualquer tipo de conhecimento que auxilie a interpretação visual, como por exemplo, as características das classes presentes, o manejo agrônomo e a ecologia da região de interesse. Pretende-se, com o emprego do conhecimento, aumentar sensivelmente o grau de automatização do processo de interpretação de imagens de satélites de baixa resolução. Esta tecnologia pode viabilizar, a baixo custo, o monitoramento contínuo do uso do solo em grandes regiões por parte dos técnicos dos órgãos do governo.

De fato, a adoção de sistemas baseados em conhecimento é muito promissora. Apesar deste campo ser recente, o número de abordagens disponíveis é bastante diverso. Segundo Richards e Jia (1999), o uso de uma abordagem em particular pode ser guiado por preferências particulares e disponibilidade de software ao invés da percepção do algoritmo mais apropriado para o problema proposto. Mesmo assim, fica claro que, mesmo em casos onde são aplicados métodos pouco sofisticados, o uso de conhecimento de foto-interpretação, na maioria qualitativo, auxilia enormemente a análise e, muitas vezes, possibilita resultados surpreendentemente bons.

No presente trabalho, para a implementação do modelo de interpretação automática de imagens de satélite de baixa resolução foi empregado o software MATLAB (Mathworks, 2002) que não possui qualquer funcionalidade voltada especificamente para a modelagem de conhecimento de alto nível.

São objetivos desta tese:

- propor e avaliar um modelo computacional para a interpretação de imagens de satélite de baixa resolução que explore conhecimento de três modalidades: espectral, contextual e multitemporal;
- Avaliar a contribuição relativa de cada uma das modalidades de conhecimento no desempenho da interpretação;

- Avaliar uma metodologia para automatizar o processo de aquisição do conhecimento espectral;
- Coletar, modelar e avaliar conhecimento prévio junto a especialistas em foto-interpretação de imagens de satélite, ecologia e manejo agrônômico das regiões de interesse.

### **1.3. Organização do restante deste documento**

O próximo capítulo descreve, de um modo geral, o estado da arte da interpretação de imagens baseada em conhecimento, e em particular, o que já foi feito com base na formalização do conhecimento para a interpretação de imagens de satélite. O capítulo 3 apresenta os fundamentos de sensoriamento remoto necessários para a compreensão deste trabalho. O capítulo 4 apresenta o modelo proposto e o capítulo 5 os aspectos relacionados a sua implementação. Inicialmente, o capítulo 6 descreve a base de conhecimento necessária para a interpretação das imagens dos sítios alvo e sua modelagem. Em seguida, ainda no capítulo 6, são descritos e discutidos os experimentos realizados. Por fim, são apresentados as conclusões e os passos futuros desta pesquisa.