

7

Conclusões e trabalhos futuros

A presente tese propôs uma metodologia baseada em conhecimento que pode ser usada no aumento do grau de automação da interpretação de imagens multitemporais de baixa resolução obtidas por satélite. Neste trabalho, a modelagem do conhecimento foi feita com base em lógica nebulosa.

O modelo proposto possibilita a inclusão de diversas modalidades de conhecimento específico, sendo no escopo desta tese empregados: *1)* Conhecimento espectral que associa as diversas assinaturas espectrais observadas na imagem de entrada e as classes da legenda, agrupando em uma única classe espectral as classes da legenda cujas assinaturas espectrais sejam semelhantes e, portanto, de difícil discriminação. *2)* Conhecimento contextual que indica os diversos contextos relevantes para a discriminação de classes da legenda com assinaturas espectrais semelhantes. *3)* Conhecimento multitemporal que relaciona, considerando a classificação anterior, as classificações possíveis no presente momento e a possibilidade de ocorrência de cada uma delas. Além disso, o modelo proposto possibilita a seleção automática do conjunto de treinamento para o aprendizado das assinaturas espectrais das diversas classes.

Dentre as principais contribuições do presente trabalho podem ser destacadas:

- A proposição de um método para modelagem de conhecimento multitemporal combinado a diversas modalidades de conhecimento no processo de interpretação de imagens de satélite de baixa resolução.
- Avaliação da contribuição individual de cada modalidade de conhecimento no desempenho da interpretação.
- Avaliou-se um método automático de seleção de conjuntos de treinamento para estimativa das assinaturas espectrais.
- Modelagem de conhecimento utilizado na interpretação de uma área de relevante importância econômica e ecológica.

A potencialidade desta proposta foi avaliada através de uma série de experimentos, onde, como base de dados, são utilizadas imagens LANDSAT de duas áreas cobertas pela mesma cena e situadas próximo à Bacia do Alto Rio Taquari no nordeste do Estado do Mato Grosso do Sul. O objetivo primordial destes experimentos foi explicitar a contribuição de cada modalidade de conhecimento.

Os resultados obtidos com o uso de conhecimento foram sempre superiores aos resultados produzidos por classificação espectral, indicando que o uso de abordagens baseadas em conhecimento pode contribuir significativamente para a automatização do processo de foto interpretação.

De forma individual, dentre as diversas modalidades de conhecimento empregadas, o conhecimento multitemporal ponderado demonstrou, no caso estudado, fornecer o maior incremento na taxa de reconhecimento global em relação à classificação espectral. Enquanto, para o caso estudado, o conhecimento contextual possibilitou o menor incremento no desempenho.

Comparando as taxas de reconhecimento produzidas por ambos conjuntos de treinamento, sobretudo pela classificação espectral e pela classificação considerando conhecimento espectral, contextual e multitemporal ponderado, pode ser observado que com o uso simultâneo destas modalidades de conhecimento as taxas de reconhecimento para ambos conjunto de treinamento são mais próximas do que com a mera classificação espectral. Este resultado reforça a importância do conhecimento no desempenho do procedimento de classificação.

Os resultados da presente pesquisa poderão possibilitar a construção de sistemas capazes de realizar uma estratégia de interpretação qualquer a ser definida pelo próprio foto-intérprete, acelerando o monitoramento do uso do solo com base em imagens de baixa resolução adquiridas por satélite.

Para a análise do impacto desta proposta, pode ser considerado o seguinte procedimento de foto-interpretação padrão: *1)* O foto-intérprete seleciona um conjunto de treinamento, *2)* realiza uma classificação espectral supervisionada e *3)* pós-edita o resultado da classificação espectral a fim de corrigir possíveis inconsistências.

Nos experimentos realizados, o resultado da simples classificação espectral, com conjunto de treinamento selecionado com base nos próprios resultados de

referência, atingiu taxas de reconhecimento de 57,9 % para a imagem de 2000 e 69 % para a imagem de 2001. Assim sendo, partindo-se deste resultado, os 42,1 % e 31 % remanescentes precisarão ser corrigidos pela pós-edição.

O método automático baseado em conhecimento proposto com conjunto de treinamento selecionado automaticamente atingiu taxas de acerto de 85,6 % para a imagem obtida em 2000 e 89,9 % para a imagem obtida em 2001. Neste caso, precisaria ser pós-editada a classificação de apenas 14,4 % e 10,1 % dos padrões respectivamente. Portanto, a quantidade de padrões cuja classificação seria mudada na pós-edição cairia de 42,1% para 14,4% na imagem de 2000 e de 31 % para 10,1 % para a imagem de 2001, reduzindo, assim, sensivelmente o tempo gasto na pós-edição e melhorando a produtividade dos intérpretes. Lembrando ainda que o método proposto é capaz de selecionar automaticamente o conjunto de treinamento para a modelagem das assinaturas espectrais, o trabalho da foto interpretação pode ficar resumido, neste caso, à pós-edição de 14,4 % e 10,1 % dos padrões respectivamente. Entretanto, o foto-intérprete teria que, de qualquer maneira, examinar visualmente todas os segmentos a fim de selecionar àqueles cuja classificação deverá ser alterada.

Como sugestões para trabalhos futuros podem ser mencionadas:

- Avaliar a metodologia em outras áreas em que os aspectos estruturais e multitemporais tenham relevâncias diferentes. No caso das imagens utilizadas nos experimentos, a contribuição do conhecimento multitemporal foi mais significativa que a contribuição do conhecimento contextual.
- Investigar a sensibilidade do limiar de exclusão utilizado no método de estimativa das assinaturas espectrais. Este parâmetro está associado à possibilidade de mudança de cada classe. Como consequência é razoável se pensar em aplicar limiares diferentes para cada classe. Estes valores poderão ser estimados com base na experiência de especialistas na área de interesse, ou, eventualmente, a partir de dados históricos. Esta idéia não foi explorada neste trabalho e poderá implicar numa melhora importante no desempenho do método.
- Estudar e propor métodos de modelagem de incerteza capazes de sugerir ao foto-intérprete quais segmentos provavelmente deverão ser pós-

editados, evitando o inconveniente trabalho de examinar todos os segmentos em busca daqueles cuja classificação precisa ser alterada.

- O presente trabalho pressupõe que as imagens das diversas instâncias de tempo estejam registradas. Esta tarefa é usualmente realizada de forma manual. A fim de tornar o processo plenamente automático, é necessário, também, automatizar o registro das imagens.
- O trabalho apresentado considerou imagens de uma mesma época do ano. A resposta espectral de determinadas classes de cobertura do solo apresenta padrões particulares de variação ao longo do ano. O conhecimento destes padrões podem ser explorado no processo de interpretação. Uma técnica promissora para modelar este tipo de conhecimento são os chamados Modelos de Markov Ocultos que têm sido utilizados com êxito em reconhecimento de voz. Trata-se de uma extensão dos diagramas de transição de estados que poderá ser explorada como continuação deste trabalho.