

Pesquisa Dirigida

1

Tecnologias Avançadas de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto para apoio ao desenvolvimento e utilização sustentadas da Amazônia

1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O projeto Tecnologias Avançadas de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto para Apoio ao Desenvolvimento e Utilização Sustentadas da Amazônia foi proposto pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) ao MMA/PPG-7 por ocasião do lançamento do 1º Edital/1995, aprovado em 1996, sendo que sua execução deveria ser realizada em dois anos. Em julho de 1996 foi firmado um contrato entre a FINEP e a FUNCATE e após serem solucionados os entraves administrativos formalizou-se a sistemática de contratação entre a FUNCATE/FINEP/Banco Mundial em julho 1997, dando início ao processo de compra de equipamentos em outubro de 1997, os quais foram recebidos em março de 1998.

O projeto contemplou dois objetivos. Inicialmente, em sua primeira fase, teve por objetivo desenvolver, avaliar e implantar metodologias e técnicas inovadoras de geoprocessamento e processamento de imagens digitais visando apoiar o desenvolvimento sustentável na Amazônia. A segunda fase, complementando a primeira, teve por objetivo disponibilizar estas tecnologias para instituições da região, apoiando a formação de recursos humanos e a implantação de infra-estrutura mínima que permitisse aplicá-las em estudos sócio-ambientais e no monitoramento dos recursos naturais.

Para tanto, foram estabelecidas e cumpridas as seguintes metas:

- Desenvolvimento de técnicas de análise integrada da paisagem, a partir de classificação contínua baseada em modelos lineares e não-lineares;
- Desenvolvimento de técnicas automatizadas de classificação de imagens para monitoramento florestal;
- Desenvolvimento de técnicas de processamento e classificação de imagens de radar para monitoramento florestal;
- Desenvolvimento de tecnologias para acesso a banco de bancos de dados geográficos para região amazônica;
- Programa de trabalho conjunto entre instituições para treinamento de recursos humanos, implantação e avaliação das tecnologias desenvolvidas nos estados da Amazônia

Deve ser ressaltado que a proposta original deste projeto previa o treinamento de pessoal e a transferência das tecnologias desenvolvidas (meta 5) em três instituições da Região Amazônica. Entretanto, em função do aparecimento de microcomputadores de alto desempenho a preços razoáveis e a disponibilização do software SPRING em ambiente Windows 9x/NT foi possível utilizá-los, ao invés das estações de trabalho para ambiente Unix, inicialmente previstas. Desta maneira, com os mesmos recursos financeiros previstos no projeto, tornou-se possível ampliar a referida meta para todos os nove estados da Amazônia Legal, superando as previsões iniciais.

2. ATIVIDADES REALIZADAS E RESULTADOS

META 1 - Análise Integrada da Paisagem, a partir de Classificação Contínua Baseada em Modelos Lineares e Não-lineares

O uso de procedimentos de análise qualitativos associados a combinação de informações temáticas em sistemas de informação geográfica (SIG) através de sobreposição utilizando-se operadores booleanos (cruzamento de mapas temáticos) produzem, na maioria das vezes, uma representação inadequada da realidade ambiental de uma região.

Modelagens mais realistas para os diagnósticos e prognósticos ambientais, que levam em conta tanto as características do meio físico, quanto os aspectos sociais e econômicos, podem ser obtidas através da elaboração de modelos lineares, baseados em operações aritméticas e estatísticas ou, em modelos não-lineares que utilizam novas técnicas, como por exemplo as redes neurais artificiais.

Utilizando-se como objetivo a operacionalização em SIG da metodologia para o Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) da Amazônia Legal (Becker e Egler [03]) foram desenvolvidas diversas funções e operadores em álgebra de mapas (Barbosa [01]) que permitiram implementar no software SPRING modelos lineares para integração de dados no meio físico (Crepani *et al.* [09]) e sócio-econômicos (Becker e Egler [03]). Desta maneira, através de operações de ponderação, aritméticas, zonais e de agregação (Câmara e Medeiros [05]; Barbosa 4) foi possível automatizar os vários procedimentos previstos na metodologia¹ do ZEE, conforme pode ser verificado em Medeiros [15] e Sousa [16].

Para ilustrar os procedimentos de análise ambiental que permitiram combinar as informações de vulnerabilidade ambiental com informações sócio-econômicas, inicialmente deve ser observada a Figura 1A, na qual um gráfico bidimensional mostra a distribuição de um conjunto de dados de vulnerabilidade ambiental e de pontencialidade social e econômica. A posição de cada ponto neste espaço bidimensional está diretamente relacionada com a magnitude dos valores contidos nos dois mapas numéricos de vulnerabilidade ambiental e de

¹ Estes procedimentos foram utilizados na execução da Meta 5, que refere-se a transferência de tecnologia e formação de Recursos Humanos.

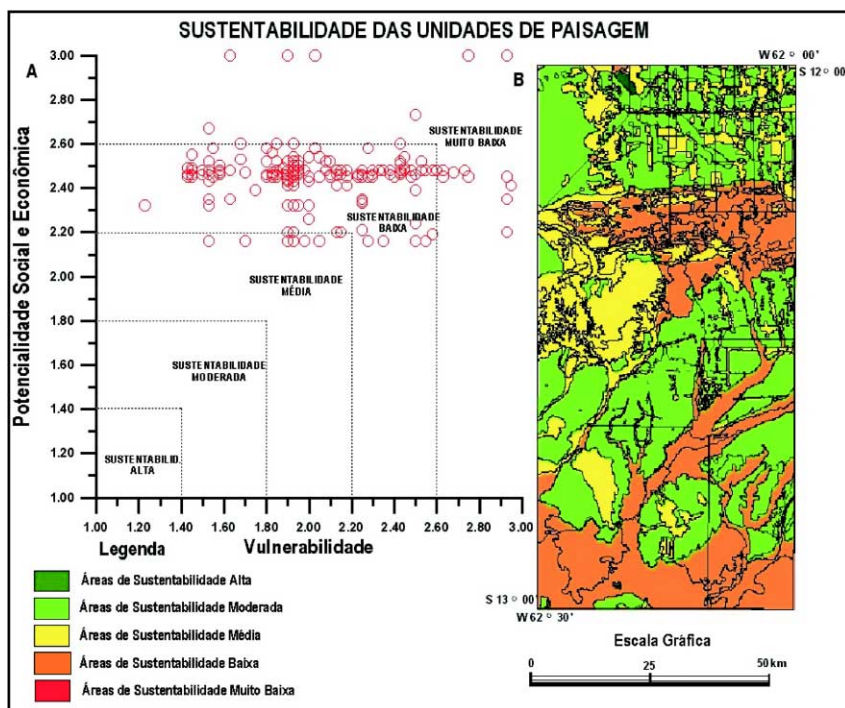


Figura 1. Mapa de sustentabilidade ambiental em área de estudo no sudoeste de Rondônia. (Modificado de Medeiros [15]).

potencialidade social e econômica. Ao analisá-los, podem ser identificadas regiões de vulnerabilidade próximas a 1,0) pode ser considerada de média ou baixa sustentabilidade se o modelo de ocupação – derivado da dinâmica econômica, social e política – lá vigente, não permitir o desenvolvimento humano com um nível de qualidade de vida (valores de potencialidade próximos a 3,0) e de controle ambiental adequados. O resultado desta subdivisão do espaço bidimensional pode ser materializado no mapa temático de sustentabilidade, mostrado na Figura 1B.

Paralelamente, foi desenvolvido por Medeiros [15] um modelo não-linear² que utiliza uma rede neural artificial (RNA) para simular a análise integrada do meio físico, conforme os procedimentos desenvolvidos por Crepani *et al.* [09] para produção da carta de vulnerabilidade natural. Nesta tentativa de gerar um modelo que conseguisse produzir um mapa temático de vulnerabilidade igual, ou pelo menos semelhante, ao obtido após a execução das operações de álgebra de mapas, foram projetadas e testadas diversas arquiteturas de RNAs do tipo *feedforward* e leis de aprendizagem do tipo *backpropagation* e suas varia-

² Em álgebra, o termo linear denota funções com propriedades do tipo $f(ax) = af(x)$ e $f(x+y) = f(x)+f(y)$. O termo não-linear é definido como a negação do linear, isto é, os resultados da função f podem não ser proporcionais aos valores de x ou y .

ções. Este autor verificou, em áreas de estudo em Rondônia, no Acre e no Pará, que os cenários gerados pela RNA de melhor desempenho foram similares àqueles gerados por procedimentos efetuados em álgebra de mapas e por procedimentos manuais. Para ilustrar, a Figura 2, mostra a arquitetura de RNA que obteve melhor desempenho nos experimentos efetuados e utilizada para produção dos tais cenários.

META 2 - Classificação Automática de Imagens de Satélite para Monitoramento Florestal

Uma das prioridades na tomada de decisões, em nível governamental, para um adequado processo de fiscalização e/ou de planejamento de uma determinada região, diz respeito à disponibilidade de levantamentos temáticos, que mostrem o estado atual dos recursos naturais e seu uso pelo homem. Neste contexto, tornar operacional e de acesso público a cartografia temática das áreas desflorestadas, em extensão e em incrementos anuais, num banco de dados, é de suma importância, tanto para os tomadores de decisões, quanto para aqueles interessados em modelar modelando os efeitos dos processos antrópicos nas áreas tropicais (*Duarte et al.* [10]).

O desenvolvimento metodológico para automatizar o processo de interpretação de imagens de forma operacional em grandes regiões vem empregando técnicas de segmentação de imagens, utilizando o modelo de mistura espectral e a classificação por regiões, cujo desenvolvimento teórico e potencialidade têm sido descritos por diversos autores como por exemplo Shimabukuro, *et al.*, [17] e Batista, *et al.* [02].

A principal vantagem do uso das técnicas que lidam com processamento digital de dados orbitais, em relação às técnicas que usam o método analógico (interpretação visual de imagens em papel fotográfico), está na precisão do georreferenciamento dos polígonos de desflorestamento. Isto elimina o problema das distorções geométricas e a conseqüente falta de ajuste dos polígonos, muito comum no método visual de interpretação (analógico) de áreas desflorestadas que vem sendo utilizado no PRODES (Projeto de Estimativa do Desflorestamento Bruto da Amazônia), doravante chamado de PRODES analógico. O produto gerado através do método digital é um mapa contendo informações que representam de 80 a 90% dos trabalhos realizados atualmente pelo método analógico. O restante do trabalho é realizado por um fotointérprete, que analisa os resultados dos polígonos de desflorestamento aceitando-os ou reclassificando-os em outras categorias de uso da terra. O mapeamento final da extensão total do desflorestamento, consiste em analisar os polígonos obtidos pela segmentação e classificação da imagem fração-sombra. Os polígonos mapeados são aceitos ou reclassificados em outras categorias de uso da terra, baseado na experiência do fotointérprete que se utiliza também dos dados históricos do PRODES analógico. Além disso, o fotointérprete pode considerar as outras informações mapeadas pela segmentação visando melhorar a qualidade dos dados que constam apenas parcialmente na legenda do PRODES analógico

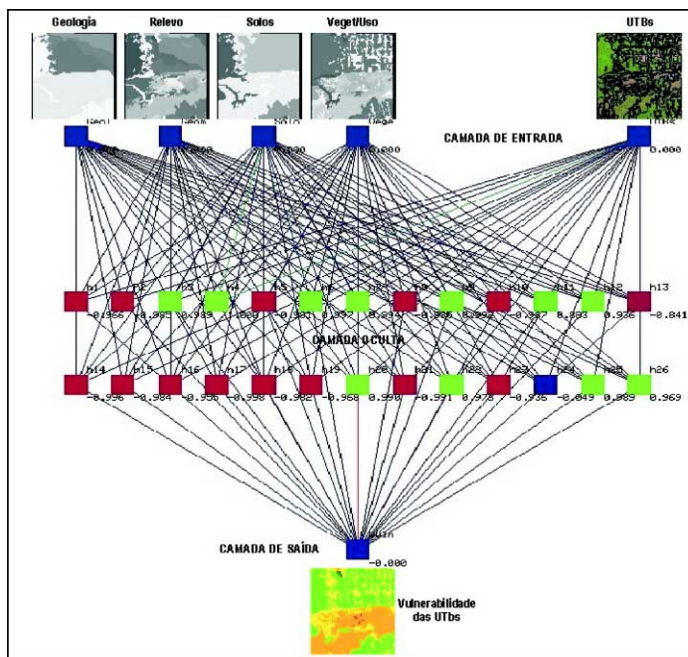


Figura 2 Arquitetura de RNA de melhor desempenho, utilizada para gerar cenários de vulnerabilidade do meio físico (Fonte: Medeiros [15]).

e que podem ser adicionadas a novos planos de informação ou utilizadas para refinar os planos já existentes. Estas informações são relativas aos diversos temas tais como: áreas de Floresta, Não Floresta, Desflorestamento, Massas D'Água, Rios, Rede Viária, Áreas Urbanizadas e limites do tema Nuvem (Duarte *et al.* [10]).

O procedimento para se fazer o mapeamento da extensão do desflorestamento bruto da Amazônia brasileira, ocorrido até o ano de 1997, é demonstrado na imagem TM Landsat da órbita 231/67 (Figura 3), através da segmentação e classificação da imagem fração-sombra. Este procedimento permitiu discriminar as áreas de fisionomia florestal daquelas áreas antropizadas (desflorestadas e/ou áreas em estádios de sucessão secundária). O incremento das áreas desflorestadas ocorrido no ano de 1998 foi obtido através da segmentação e classificação da imagem fração-solo, cuja dinâmica anual de uso da terra foi investigada no período 97/98. O resultado obtido tanto para a extensão como para o incremento de desflorestamento passou por um processo de edição onde o fotointérprete analisou os polígonos obtidos pela segmentação e classificação das imagens fração-sombra e -solo e decidiu sobre a aceitação ou reclassificação dos polígonos em outras categorias de uso da terra (Duarte *et al.* [10]).

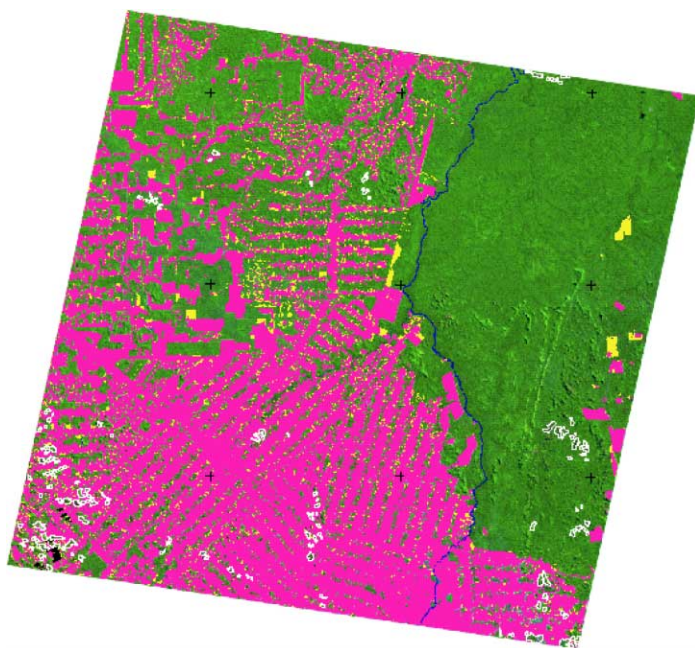


Figura 3. Mapeamento da imagem TM (231/67), mostrando a extensão do desflorestamento bruto ocorrido até a data de 07/07/97 (cor vermelha, 10.252 km²); áreas ocupadas com floresta (cor verde, 16.547 km²); incremento das áreas desflorestadas ocorrido até a data de 12/09/98 (cor amarela, 695km²) e áreas de não-floresta (branco, 195km²) o tema Nuvem.

Para viabilizar esta metodologia foi realizada otimização de algoritmos já existentes no software SPRING, tais como a segmentação de imagens, equalização radiométrica para mosaicos de imagens, como também o desenvolvimento de novos algoritmos, como por exemplo, a edição matricial, registro de dados vetoriais e registro automático de imagens com correção geométrica nível 5.

Para avaliação, ajustes e validação, esta metodologia de classificação automática foi aplicada em 47 imagens Landsat-TM que cobrem aproximadamente 80% de toda área desflorestada da Amazônia Legal.

META 3 - Processamento e Classificação de Imagens de Radar para Monitoramento Florestal

A classificação digital imagens é uma das ferramentas computacionais mais amplamente utilizadas em Sensoriamento Remoto, podendo ser baseada em várias técnicas, tais como heurísticas, estatísticas, redes neurais, morfologia matemática, *clustering* (agrupamento), entre outras. A seguir, serão apresentados resumidamente dois sistemas de classificação digital de imagens, utilizan-

do classificadores supervisionados que foram desenvolvidos dentro do projeto *Tecnologias Avançadas de Geoprocessamento e Processamento de Imagens para Apoio ao Desenvolvimento Sustentável na Amazônia*. O primeiro sistema inclui um classificador estatístico pontual/contextual (ICM – *Iterated Conditional Modes*) podendo ser aplicado a dados SAR polarimétricos ou não. Este classificador estatístico pontual incorpora a informação contextual com o objetivo de melhorar a classificação pontual. O segundo sistema inclui um classificador por região que utiliza vários tipos de atributos extraídos da imagem, o qual necessita de uma imagem segmentada como dado de entrada.

Ambos sistemas foram desenvolvidos e implementados no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e permitem que seja conduzida uma análise estatística das imagens SAR. Estes sistemas foram implementados em linguagem de programação IDL (*Interactive Data Language*), baseados na plataforma ENVI (*ENvironment for Visualizing Images*), são amigáveis (não requerendo treinamento específico do operador), possuem uma sequência de passos natural e guiada (*goal-driven*) e permitem a incorporação de novos módulos, como por exemplo, outras distribuições para se modelar os dados ou a inclusão de novos atributos. A linguagem de programação IDL foi escolhida para o desenvolvimento destes sistemas por apresentar uma grande variedade de funções pré-implementadas e definidas, facilitando a prototipação de algoritmos computacionais.

Estes sistemas foram testados e avaliados, sendo que os resultados obtidos foram devidamente relatados em artigos de publicação nacional e internacional (por exemplo, Freitas *et al.* [08]; Correia *et al.* [05]). Contudo, a utilização destes sistemas ainda está restrita aos grupos que possuam a plataforma IDL/ENVI. Portanto, para a aprimoração, divulgação e maior acessibilidade, faz-se necessário a incorporação destes sistemas a um que já seja amplamente utilizado e aceito pela comunidade técnico-científica. Desta forma, sugere-se que a plataforma do SPRING seja usada para este fim, o que acarretará a reprogramação dos *softwares* em linguagem C++, bem como a criação de algumas classes de funções e a reformulação de todas as interfaces gráficas.

Classificador Pontual/Contextual

O sistema desenvolvido baseia-se nas propriedades estatísticas dos dados e, além das funções básicas necessárias para a classificação que possibilita a determinação de estatísticas básicas das radiometrias das classes, a realização do teste de aderência χ^2 para a escolha das distribuições que mais se ajustam a estas radiometrias, a classificação propriamente dita e a avaliação dos resultados através do coeficiente de concordância *Kappa* e da matriz de confusão.

O classificador utilizado neste sistema é composto pelos classificadores de máxima verossimilhança (MaxVer) pontual e do classificador contextual ICM (Markoviano), que utilizam distribuições apropriadas para dados de radar de abertura sintética. Através deste sistema é possível classificar tanto dados

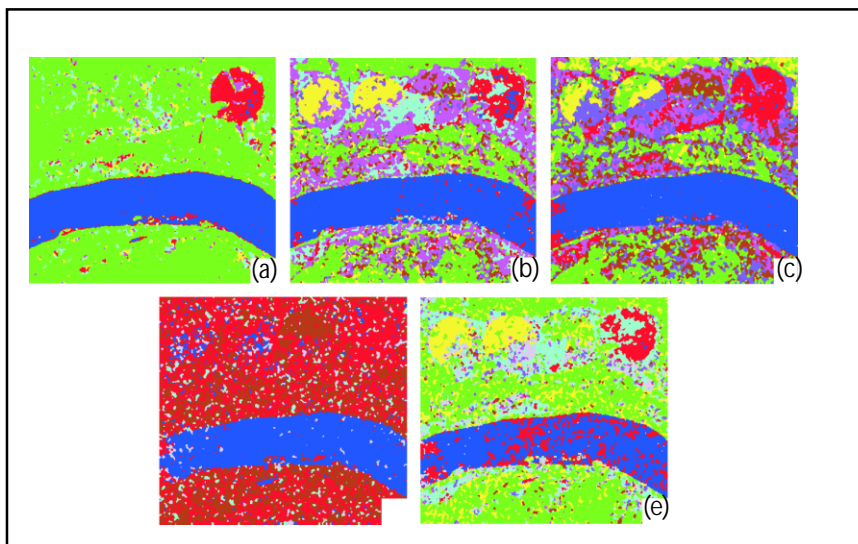


Figura 4. Classificações: Par de imagens em intensidade (a) ICM C-HVVV, (b) ICM L-HVVV, (c) ICM L-HHVV, (d) ICM da razão de imagens em intensidade L-HHVV, (e) ICM do par de imagens intensidade-diferença de fase L-HHVV (Adaptado Correia [07]).

monocanais (dados em uma única banda e polarização) como dados polarimétricos. As seguintes classificações podem ser efetuadas: (a) Monocanal, (b) Diferença de Fase, (c) Razão de Intensidades, (d) Par Intensidade – Diferença de Fase, (e) Par de Intensidades e (f) Polarimétrico Completo.

Uma descrição detalhada destes classificadores pode ser encontrada em Frery *et al.* [14], Vieira *et al.* [19], Freitas *et al.* [11], Correia [07] e Correia *et al.* [08]. Os dados polarimétricos, nas bandas C e L e nas polarizações HH, HV e VV, oriundos do SIR-C obtidos na região de Bebedouro (Pernambuco) são utilizados para ilustrar exemplos de classificações ICM obtidas com este sistema (Figura 1). Desta figura pode-se observar a importância dos variados tipos de dados polarimétricos no resultado de classificação, ou seja chega-se a resultados melhores de classificação para determinadas classes dependendo do tipo de dado usado. As classes definidas para estas classificações foram: caatinga (verde), milho1 (amarelo), milho2 (roxo), restolho (cyan), rio (azul), soja1 (cinza), soja2 (magenta), soja3 (marrom) e solo preparado (verde), sendo que para as classes milho e soja foi possível a discriminação de dois e três estágios diferentes destas culturas, respectivamente.

Classificador Por Regiões

Os classificadores por regiões podem utilizar, além da informação espectral (nível de cinza) de cada *pixel*, a informação espacial que descreve a relação entre um *pixel* e seus vizinhos. Cada região ou segmento representa uma

área da imagem que é homogênea sob algum aspecto. No classificador desenvolvido, são extraídos vários atributos para cada região da imagem segmentada. Através de análise gráfica e/ou medidas de distâncias é possível selecionar aqueles atributos que melhor separem as classes de interesse.

Em Rennó *et al.* [18], é apresentado de maneira detalhada o sistema desenvolvido para a classificação por regiões, o qual envolve a extração e seleção de medidas texturais, bem como classificação por região de uma imagem. As medidas utilizadas são divididas em quatro grupos:

- Medidas de Haralick: contraste, entropia, energia, homogeneidade, correlação, dissimilaridade, chi-quadrado, *cluster shade*, *cluster prominence*, e média, variância, entropia e energia dos vetores soma e diferença, e contraste do vetor diferença.
- Medidas distribucionais: estimadores da média, variância e desvio padrão das distribuições Gaussiana e Lognormal, e estimadores do parâmetro α baseados nos momentos das distribuições K-Intensidade e K-Amplitude;
- Medidas de primeira ordem: desvio médio absoluto, assimetria, curtose, coeficiente de variação, mediana, entropia, energia; e
- Autocorrelações espaciais e razões entre elas, considerando *lags* de -4 a 4.

A seleção de medidas que melhor discriminam as classes de interesse é obtida analisando-se um fator discriminante para cada par de classes. Dado um par de classes *A* e *B*, o fator discriminante é definido por:

$$FD_{AB} = \frac{n_A \cdot \sum_{i=1}^{n_A} (X_{Ai} - \bar{X}_A)^2 + n_B \cdot \sum_{i=1}^{n_B} (X_{Bi} - \bar{X}_B)^2}{n_A \cdot \sum_{i=1}^{n_A} (X_{Ai} - \bar{X}_B)^2 + n_B \cdot \sum_{i=1}^{n_B} (X_{Bi} - \bar{X}_A)^2}$$

onde X_{wi} ($w = A$ ou B) é o valor da medida para a *i*-ésima região amostrada, \bar{X}_w é o valor médio da medida e n_w é o número de regiões amostradas da classe *w*. Quanto maior a separabilidade entre as classes, maior será este fator. Portanto, para cada par de classes, é escolhida a medida que apresenta o maior valor do fator discriminante. A classificação propriamente dita é efetuada extraíndo-se as medidas selecionadas para cada região da imagem e atribuindo-a à classe que minimiza a distância de Mahalanobis. Um exemplo do resultado de classificação utilizando este sistema é apresentado na Figura 2, onde as classes de uso do solo definidas são: floresta primária, sucessão secundária antiga, sucessão secundária nova e atividades recentes. Estas classes aparecem nas cores verde escuro, verde claro, amarelo e magenta, respectivamente.

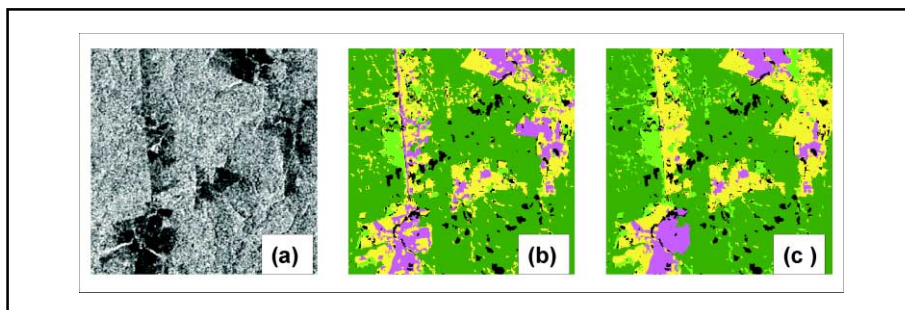


Figura 5. (a) imagem do JERS-1; (b) Mapa de uso de ocupação do solo; (c) Resultado da classificação baseada em três medidas texturais (mediana, entropia de Haralick e correlação de Haralick) (Adaptada de Rennó *et al.* [18]).

META 4 - Banco de Dados Geográficos para a Região Amazônica

O acesso as informações geográficas através da Internet constitui um meio importante para a difusão de informações para o público em geral e deve ser explorado por organismos governamentais ou de caráter público. A idéia é que se possa evoluir dos acervos cartográficos tradicionais para um ambiente interativo de análise. Contudo, as soluções disponíveis não preenchem a expectativa dos usuários, em alguns casos devido a deficiências de funcionalidade, em outros devido a pouca interatividade.

Os sistemas que atendem aos requisitos de funcionalidade e interatividade, exigem a carga de “plug-ins” ou a instalação de módulos especiais dificultando a utilização pelo usuário não especializado. A tecnologia que foi desenvolvida foi incorporada em um produto denominado SpringWeb, também distribuído na modalidade domínio público como o SPRING. O SpringWeb soluciona estes problemas, criando um sistema aberto e de utilização imediata, exigindo apenas um navegador de Internet padrão, sem qualquer preparação especial.

Na nova abordagem apresentada no SpringWeb, são propostos objetos que podem ser manipulados por aplicativos (“applets”) escritos na linguagem Java. Estes objetos possuem estrutura simples e legível, e podem ser gerados manualmente ou por sistemas de informação geográfica (SIG) convencionais, sendo armazenados em arquivos ASCII³. Uma aplicação Java, que é enviada à máquina cliente juntamente com as informações geográficas e tabulares permite a visualização de imagens, mapas e atributos relacionados aos elementos gráficos. O esquema de interação é constituído por duas janelas independentes que podem ser movidas e redimensionadas livremente, conforme mostram os exemplos na Figura 6. A primeira contém um área de desenho onde são apresentadas

³No caso do SIG SPRING, foram desenvolvidas funções que permitem exportar todo um banco de dados para o formato de utilização do SpringWeb.

as legendas, a imagem de fundo e os elementos gráficos que integram as informações selecionadas pelo usuário. A Segunda janela contém as informações textuais dos objetos geográficos apresentados, na forma de uma tabela. As duas janelas operam de forma cooperativa de forma que qualquer objeto selecionado na tela gráfica, seleciona os respectivos atributos na tabela e vice-versa.

As informações selecionadas pelo usuário são geradas no servidor seguindo o formato predefinido e enviadas ao cliente, que passa a operar de modo autônomo, reduzindo o tráfego de informações entre o servidor e a máquina cliente. Esta última passa a operar utilizando toda a sua capacidade de processamento, sem qualquer retardo causado pela utilização do sistema de comunicação utilizada. Portanto, após recebidos os dados o usuário dispõe de

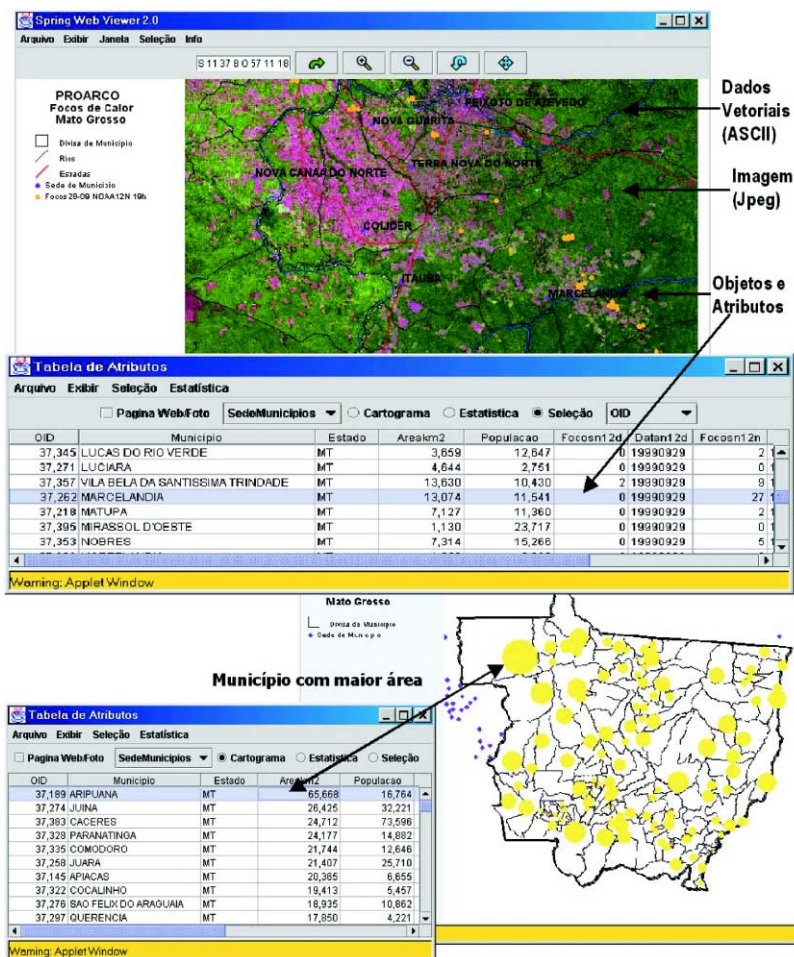


Figura 6. Aspecto de algumas interfaces de SpringWeb.

uma ferramenta rápida e com grande capacidade interativa.. Para tanto, dois grupos de dados são enviados para o cliente, um com as informações gráficas, denominado “**Map**” e outro contendo as informações tabulares, denominado “**Relations**” e cujas características são descritas em Freitas [13].

A Figura 6 além de mostrar alguns resultados de consultas realizadas no SpringWeb, exemplifica a sua utilização de forma operacional no Programa PROARCO (www.dpi.inpe.br/proarco) que visa o monitoramento de queimadas e a prevenção e controle de incêndios florestais no arco do desflorestamento na Amazônia Legal.

Outras utilizações do SpringWeb ainda em caráter experimental e preliminar começaram a ser desenvolvidas nos laboratórios de sensoriamento remoto e geoprocessamento onde foram ministrados os treinamentos de transferência de tecnologia (Meta 5), como por exemplo os Laboratórios de Geoprocessamento da Gerência Adjunta de Meio Ambiente (GAMA - MA) e da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA) e o Laboratório de Geoprocessamento da Secretaria de Desenvolvimento Ambiental de Rondônia (SEDAM). Estas instituições pretendem difundir os produtos e informações geradas nos laboratórios através da Web.

META 5 - Programa de Trabalho Conjunto entre Instituições

Os estados da Região Amazônica possuem instituições que há alguns anos vem utilizando tecnologias de sensoriamento remoto e de geoprocessamento no mapeamento e como apoio na gestão dos recursos naturais. Contudo, esta utilização se dá ainda de forma insatisfatória em virtude dos escassos investimentos estaduais que são destinados aos laboratórios de geoprocessamento e sensoriamento remoto para aquisição de equipamentos, software e principalmente para a formação de recursos humanos. Em geral estes laboratórios tem atuado com dificuldade, funcionando basicamente em função de acordos, convênios ou doações de instituições federais e/ou de cooperações internacionais.

Em alguns estados da Amazônia, o corpo técnico destes laboratórios é constituído de pessoal de diferentes instituições estaduais e/ou federais que atuam no estado, em função de acordos de cooperação celebrados entre elas. Por exemplo, em Rondônia, além dos próprios técnicos do Laboratório de Geoprocessamento, participam das atividades ou utilizam as facilidades do mesmo técnicos do IBAMA, CPRM, INCRA, Ministério Público, Organizações Não-Governamentais, etc.

Neste contexto, esta meta procurou preencher a lacuna tecnológica, ainda que timidamente, executando um programa de trabalho conjunto entre pesquisadores e técnicos do INPE e o corpo técnico destes laboratórios, visando o repasse de conhecimentos e tecnologias.

Foi possível repassar as tecnologias de sensoriamento remoto e SIG desenvolvidas e implementadas no SPRING, através de treinamentos de 80 horas realizados em cada um dos estados, aumentando a competência dos recursos humanos locais interessados em utilizar estas tecnologias. Neste treinamento

cumpru-se o seguinte programa: Aula 1 – Introdução ao SPRING; Aula 2 – Registro de Imagens; Aula 3 – Processamento de Imagens; Aula 4 – Classificação; Aula 5 – Processamento de Imagens de Radar; Aula 6 – Edição de Dados Vetoriais; Aula 7 – Modelagem Numérica de Terreno; Aula 8 – Análise e Consulta Espacial; Aula 9 – Geração de Carta.

O programa de treinamento citado refere-se ao curso básico para utilização do SPRING, que no caso deste projeto foi adaptado para incluir a metodologia para integração de dados do meio físico desenvolvida por Crepani *et al.* [09] que por sua vez, faz parte da Metodologia do Zoneamento Ecológico-Econômico da Amazônia Legal (Becker e Egler [03]). É importante afirmar que mais de 100 técnicos participaram dos treinamentos efetuados.

Também foi possível aumentar a capacidade operacional dos laboratórios instalando-se um microcomputador com configuração mínima adequada para processamento de imagens digitais, aplicações em geoprocessamento e possibilidade de armazenamento dos dados e informações produzidas, através de uma unidade gravadora de CDROM. Os computadores adquiridos com recursos do projeto e enviados para os laboratórios possuíam as seguintes características básicas: Pentium 200 MMX, RAM 64 Mb, HD 6.5 Gb, Placa de Vídeo *True Color*, Monitor 17", Gravador de CD-ROM, Modem e Placa de Rede; Windows-95, Office 97(Access) e SPRING/Windows. Para o laboratório do INPA, adicionalmente foram adquiridos e instalados 01 Plotter HP-A0 e duas mesas digitalizadoras de formato A3.

3. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A utilização de uma fundação de direito privado ligada ao INPE foi importante para a administração do projeto, agilizando a execução das atividades programadas e permitindo cumprir o cronograma dentro dos prazos previstos, após a liberação dos recursos.

Considera-se que o projeto cumpriu plenamente os objetivos propostos, tendo em vista que foi possível ampliar as atividades de transferência de tecnologia e repasse efetivo de conhecimentos para todos os estados da Amazônia Legal (duas instituições federais e dez estaduais) em relação ao que fora inicialmente previsto (duas federais e duas estaduais).

As diferenças político-administrativas nos estados da Amazônia Legal impõe condições e importância diferenciadas aos órgãos estaduais nos quais os laboratórios de sensoriamento remoto e geoprocessamento estão instalados. Isto se reflete nas condições operacionais (instalações e equipamentos adequados) e principalmente na alocação dos recursos humanos que desenvolvem atividades nestes laboratórios. Como consequência, observou-se que houve uma absorção diferenciada com relação a aprendizagem e a utilização da tecnologia repassada através dos treinamentos.

Assim sendo, a instalação dos equipamentos e os treinamentos para transferência de tecnologia induziu aos seguintes resultados: 1) nas instituições que possuíam laboratórios de geoprocessamento há algum tempo, corpo técnico re-

lativamente treinado e equipamentos adequados, o projeto possibilitou uma reciclagem dos recursos humanos, além de um incremento na produtividade do laboratório; 2) nas instituições onde os laboratórios possuíam poucos, ou equipamentos obsoletos e corpo técnico com alguma experiência, o projeto possibilitou aos laboratórios alavancarem suas atividades e; 3) nos laboratórios que possuíam pessoal com pouca ou nenhuma experiência e poucos equipamentos, o projeto, em alguns casos possibilitou iniciarem suas atividades, em outros, por desconhecimento ou desinteresse, optaram por utilizar outras tecnologias.

Desta maneira, sugere-se as seguintes ações: 1) viabilizar a continuidade dos laboratórios e a manutenção da equipe treinada visto que durante o período de execução do projeto, na maioria dos casos, só foi possível iniciar ou alavancar o processo de implementação; 2) possibilitar uma maior integração dos laboratórios e dos órgãos aos quais estão ligados, com parceiros que possam transferir tecnologias (instituições de pesquisas e universidades); 3) novos projetos semelhantes a este devem assegurar que o órgão responsável pela transferência de tecnologia (p.ex. INPE) mantenha uma maior integração com os laboratórios através de acompanhamento e reciclagem periódica do pessoal técnico; 4) assegurar o desenvolvimento e a manutenção dos bancos de dados produzidos nos laboratórios e; 5) incentivar ações políticas e públicas para difusão das informações produzidas para os municípios e as comunidades locais.

4. BIBLIOGRAFIA

- [01] **Barbosa, C. C. F.** Álgebra de Mapas e suas Aplicações em Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento. Tese de Mestrado. São José dos Campos. INPE. 1997.
- [02] **Batista, G.T.; Medeiros, J.S. de; Mello, E.M.K.; Moreira, J.C.; Bins, L.S.;** *New Approach for Deforestation Assessment*. Int. Symp. on Resource and Environmental Monitoring (ISPRS, Rio de Janeiro), **Proceedings**, 30, Part 7a, 170-174, 1994.
- [03] **Becker, B. K.; Egler, C. A. G.** *Detalhamento da Metodologia para Execução do Zoneamento Ecológico-Econômico pelos Estados da Amazônia Legal*. Brasília. SAE-Secretaria de Assuntos Estratégicos/ MMA-Ministério do Meio Ambiente. 1996.
- [04] **Bins, L.S.; Erthal, G.J.; Fonseca, L.M.G.** *Um Método de Classificação Não Supervisionada por Regiões*. **SIBGRAPI VI**, Recife, PE, Anais, p.65-68, 1993.
- [05] **Câmara, G.; Medeiros, J. S.** *Geoprocessamento para Projetos Ambientais*. Tutorial. São José dos Campos. INPE. 1996.
- [06] **Correia, A.H.; Freitas, C.C.; Frery, A.C.; Sant'Anna, S.J.S.** *A user friendly statistical system for polarimetric SAR image classification*. Revista de Teledetección, Sociedade Espanhola de Teledetección, 10:79-93, 1998.

- [07] **Correia, A.H.** *Projeto, desenvolvimento e avaliação de classificadores estatísticos polarimétricos e contextuais para imagens SAR polarimétrica*. (Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Nov.1998.
- [08] **Correia, A. H.; Freitas, C. C.; Frery, A.C.** *Projeto, desenvolvimento e avaliação de classificadores estatísticos pontuais e contextuais para imagens SAR polarimétricas*. In: XXV Conferência Latinoamericana de Informática. Concurso Tesis de Maestria – UNESCO, Asunción, Paraguay, Agosto 30 - Setiembre 3, 1999. Memorias – Tomo 2, 1999, p. 1205-1225.
- [09] **Crepani, E.; Medeiros, J. S. de.; Azevedo, L. G.; Hernandez, P.; Florenzano, T. G.; Duarte, V.** *Curso de Sensoriamento Remoto Aplicado ao Zoneamento Ecológico-Econômico*. São José dos Campos. INPE. 1996.
- [10] **Duarte V.; Shimabukuro, Y. E.; Santos, J. R. dos.; Mello, E. M. K.; Moreira, J. C.; Moreira, M. A.; Souza, R. C. M. de.; Shimabukuro, R. M. K.; Freitas, U. M. de.** *Metodologia para Criação do PRODES Digital e do Banco de Dados Digitais da Amazônia – Projeto BADDAM*. São José dos Campos. INPE (INPE-7032-PUD/035). 1999.
- [11] **Freitas, C.C.; Sant’Anna, S.J.S.; Rennó, C.D.; Correia, A.H.** *Utilização de imagens de radar de abertura sintética na classificação de uso e ocupação do solo*. In: Geomática: Técnicas e Aplicações Avançadas, 1999 (no prelo) – (Livro sendo editado pela EMBRAPA).
- [12] **Freitas, C.C.; Correia, A.H.; Frery, A.C.; Sant’Anna, S.J.S.** *A system for multi-look polarimetric SAR image statistical classification*. In: Segunda Jornada Latino-Americana de Sensoriamento Remotos por Radar: Técnicas de Processamento de Imagens. Santos, São Paulo, set.1998, *Workshop Proceedings*. ESA, 1999, p.141-148. (ESA SP-434).
- [13] **Freitas, U. M. de.** *Interactive access to geographic databases on WorLd Wide Web using Java*. Anais do 4º Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento. São Paulo. Novembro de 1997. USP. Escola Politécnica.
- [14] **Frery, A.C.; Yanasse, C.C.F.; Vieira, P.R.; Sant’Anna, S.J.S.; Rennó, C.D.** *A user-friendly system for synthetic aperture radar image classification based on grayscale distributional properties and context*. In: Simpósio Brasileiro de Computação Gráfica e Processamento de Imagens, 10, Campos de Jordão, SP, 14-17

- Outubro 1997. Proceedings. IEEE, 1997, p.211-218.
- [15] **Medeiros, J. S. de.** *Banco de Dados Geográficos e Redes Neurais Artificiais: Tecnologias de Apoio à Gestão do Território.* Tese de Doutorado. São Paulo. USP. 1999. 221p.
- [16] **Sousa, C.J.S.** *Carta de Vulnerabilidade à Erosão como Subsídio ao Zoneamento Ecológico-Econômico em Área Intensamente Antropizada.* Dissertação de Mestrado, São José dos Campos. INPE (PI 7030-TDI/662). 1999. 172p.
- [17] **Shimabukuro, Y.E., Smith, J.A.** *The Least-Squares Mixing Models to Generate Fraction Images Derived From Remote Sensing Multispectral Data.* IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 29, p. 16-20, 1991.
- [18] **Rennó, C.D.; Freitas, C.C.; Sant'Anna, S.J.S.** *A system for region image classification based on textural measures.* In: Segunda Jornada Latino-Americana de Sensoriamento Remoto por Radar: Técnicas de Processamento de Imagens. Santos, São Paulo, set.1998, Workshop Proceedings. ESA, 1999, p.159-164. (ESA SP-434).
- [19] **Vieira, P.R.; Yanasse, C.C.F.; Frery, A.C.; Sant'Anna, S.J.S.** *Um sistema de análise e classificação estatísticas para imagens SAR.* In: Primeras Jornadas Latinoamericanas de Percepción Remota por Radar: Técnicas de Procesamiento de Imágenes. Buenos Aires, Argentina, Dezembro 1996, Workshop Proceedings. ESA, 1997, p.179-185. (ESA SP-407).

EQUIPE:

Thelma Krug (coordenadora), Gilberto Câmara, Ubirajara Moura Freitas, Fernando Yutaka Yamaguchi, Juan Carlos P. Garrido, Corina Costa F. Yanasse, Alejandro Cesar Frery, Sidney Sant'Anna, Fernando Augusto Mitsuo Li, José Cláudio Mura, José Simeão de Medeiros, Eduardo Celso Camargo, João Roberto dos Santos, José Carlos Moreira, Eliana Kalil Melo, Ricardo José Machado, Andrea Silva Hemerly, Marco Antônio Casanova, Herbert Otto Roger Schubart, Tereza C. Carvalho, Francisca Dionisia Matos, Jaime Agostinho, Edileusa Melo, Eraldo Matricardi