ISSN 1678-7226
Dias, J.M.; Silva, A.M.; Pereira, N.M. (15-27) Rev. Geogr. Acadêmica v.3, n.2 (xii.2009)

APLICAÇÃO DE IMAGENS IKONOS II E TM/LANDSAT-5 NA ELABORAÇÃO DE UMA BASE CARTOGRÁFICA PARA A RESERVA DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL MAMIRAUÁ – AMAZONAS

APPLICATION OF IKONOS II AND TM/LANDSAT-5 SATELLITES DATA FOR DIGITAL BASE MAPPING THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT RESERVE MAMIRAUÁ, AMAZON, BRAZIL

Josimara Martins Dias
Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas
josimara.dias@ige.unicamp.br

Adalene Moreira Silva
Instituto de Geociências, Universitário Darcy Ribeiro - Brasília
adalene@unb.br

Newton Muller Pereira
Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas
newpe@ige.unicamp.br

RESUMO
O objetivo desse artigo foi apresentar a metodologia desenvolvida para elaborar uma base cartográfica digital atualizada como suporte à gestão participativa da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá, localizada no estado do Amazonas. Por se tratar de uma área de várzea, tanto a paisagem física quanto a organização social se alteram frequentemente e essa dinâmica demanda a atualização sistemática das bases cartográficas. Neste trabalho foram utilizadas imagens dos sensores orbitais IKONOS II e TM/LANDSAT 5, entrevistas com usuários e coleta de dados geográficos em trabalho de campo. Como resultado obteve-se uma base cartográfica com escala de mapeamento 1:100.000 e um banco de dados compatível com as referências locais, com os quais é possível gerar mapas temáticos atualizados para auxiliar o diálogo nos programas de manejo sustentável da Reserva Mamirauá e, assim, minimizar conflitos com as comunidades locais.

Palavras chaves: Amazônia, Gestão Ambiental, SIG, IKONOS

ABSTRACT
This paper has as purpose present the methodology developed to produce an updated digital map base support for participatory management Mamirauá Reserve of Sustainable Development in the state of Amazonas, Braszil. Because this protected área is situated within an area of flooded forest, both the physical landscape and social organization often change, and the dynamic demand the systematic update of cartographic databases. This work has images of orbital sensors IKONOS II and LANDSAT 5 TM, interviews with users and collecting spatial data in the Mamirauá Reserve. This work obtained a cartographic base at 1:100.000 scale and a geodatabase compatible with the local references, with which is possible to generate thematic maps updated to support dialogue in the sustainable management programs of the Mamirauá Reserve and minimize conflicts with communities.

Keywords: Amazon, Environmental management, GIS, IKONOS

1. INTRODUÇÃO

O instrumental fornecido pelas geotecnologias tem sido utilizado principalmente para a gestão e o monitoramento ambiental, atividades que demandam a interação e a negociação entre diferentes profissionais com suas fontes de informação, ou seja, são atividades que exigem ferramentas multidisciplinares. As geotecnologias revolucionaram vários métodos científicos de análise espacial, assim como as formas de controle e planejamento da organização espacial por agentes públicos e/ou privados (Castillo, 1999). A importância das geotecnologias em relação à aquisição de "informações ambientais", conforme a expressão utilizada por Mello (2006), já foi demarcada inclusive pela Agenda 21 Global, especificamente nos Capítulos 35 e 40, denominados "Ciência para o Desenvolvimento Sustentável" e "Informações para a tomada de decisões" (Agenda 21 Global, 1992).

No conjunto das geotecnologias, o sensoriamento remoto e as técnicas de geoprocessamento exercem papel de destaque nas etapas de captura de dados, análise de informações e tomada de decisão. O ponto crucial do sensoriamento remoto está na capacidade de extrapolar a percepção visual humana sobre os objetos na Terra a partir da distinção entre as diferentes faixas do espectro eletromagnético. Assim, a combinação das especificidades de imagens orbitais de alta resolução espacial, temporal e espectral, com dados multifontes (entrevistas com usuários, análise de materiais analógicos, referências normativas para o local, etc.) contribui de forma decisiva à maior precisão nas análises geográficas, tais como a elaboração de Estudos de Impacto Ambiental e Planos de Manejo de Unidades de Conservação, entre outras aplicações.

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) também fazem parte do conjunto das geotecnologias e fundamentais à tomada de decisão em atividades relacionadas à gestão ambiental, pois se configuram como um poderoso conjunto de ferramentas para armazenar, transformar, exibir dados georreferenciados e sobrepor camadas de informações espaciais. A evolução tecnológica desse sistema disponibilizou um conjunto de técnicas que têm auxiliado as ciências em geral, e, por isso, também é caracterizado como "sistema de suporte à decisão" (Burrough, 1986).

As potencialidades de um SIG para a gestão ambiental podem ser sistematizadas, a saber: torna mais rápido o gerenciamento de bancos de dados geográficos, subsidiando a tomada de decisões; permite a elaboração de prognósticos; favorece a gestão territorial democrática e participativa por meio da disponibilização de informações à sociedade; e se ajusta ao planejamento interdisciplinar, na medida em que profissionais de diversas áreas podem trabalhar sobre uma mesma base com informações inter-relacionadas para a tomada de decisões quando a localização geográfica é uma característica fundamental (Garay e Dias, 2001; Jacintho, 2003).

Conforme Câmara e Monteiro (2009), trabalhar com as geotecnologias significa utilizar computadores e *softwares* específicos como instrumento de representação de dados espacialmente referenciados. Então, a implementação de diferentes formas de representação computacional do espaço geográfico é um problema central na elaboração de bases cartográficas. Para utilizar um SIG, é preciso que cada especialista transforme conceitos específicos de sua disciplina em representações computacionais, ou seja, implica em escolher as representações computacionais mais adequadas para capturar a semântica de seu domínio de aplicação. No caso específico da gestão de Unidades de Conservação de Uso Sustentável, nas quais deve existir um "Conselho Gestor" (Decreto n. 4.340/2002) com a função de estabelecer o diálogo entre pesquisadores, gestores e as comunidades tradicionalmente residentes nessas áreas, a elaboração e o uso de mapas temáticos com representações visuais e semânticas compreendidas por todos esses atores é fundamental.

No Brasil, as experiências com o uso de geotecnologias na gestão de Unidades de Conservação (atividade posterior à elaboração do Plano de Manejo) ainda são incipientes. Em geral, essas ferramentas são muito utilizadas nas atividades iniciais, ou seja, na delimitação da área e para a elaboração de seu Plano de Manejo, não ocorrendo continuidade posteriormente da aplicação de SIGs nas atividades relacionadas à gestão cotidiana dessas áreas protegidas. Essa carência ocorre principalmente pela dificuldade na obtenção de recursos para estruturar laboratórios próprios e a contratação de

recursos humanos capacitados para tal finalidade. Alguns exemplos de aplicação em áreas protegidas são os trabalhos desenvolvidos no Parque Estadual do Desengano – RJ (Jamel et al, 2007), na Reserva Florestal Adolpho Ducke – AM (Júnior et al, 2007), no Parque Nacional da Serra dos Órgãos - RJ (Cruz et al, 2009).

Soma-se a esse cenário o fato de que o mapeamento cartográfico sistemático oficial brasileiro em escalas grandes (disponibilizado por instituições federais como o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE) ainda é escasso na região norte do Brasil, configurando, de certa forma, um "vazio cartográfico". De acordo com o Oliveira (2006), apesar de importantes programas públicos de monitoramento ambiental, boa parte da cartografia disponível tem mais de 30 anos e, em 2007, somente 14% do território brasileiro estava mapeado na escala 1:50.000 e 3% na escala 1:25.000, que são escalas importantes para as atividades de planejamento.

A Amazônia, ícone das reivindicações internacionais pela preservação da biodiversidade e lócus de históricos conflitos sócio-ambientais, possui também importantes programas de monitoramento ambiental estruturados com geotecnologias, como o Sistema de Proteção da Amazônia (SIPAM), o Programa de monitoramento da floresta amazônica brasileira por Satélite (PRODES) e o Sistema de Detecção do Desmatamento em Tempo Real (DETER). Paralelamente a esses programas, as Unidades de Conservação são um dos instrumentos mais eficientes na promoção da proteção e conservação da biodiversidade na Amazônia (Queiroz, 2005).

Em 2009, a região norte registrou o maior número de Áreas Protegidas Públicas delimitadas no Brasil, conforme dados do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e da pesquisa de Jenkins e Joppa (2009). Contudo, boa parte dessas Unidades ainda não possui Plano de Manejo adequado e/ou implementado, podendo ser definidas simbolicamente como "Unidades de Papel" (Medeiros, 2006; Brito, 2000). Então, no atual contexto, este trabalho apresenta a iniciativa de aplicação de geotecnologias na gestão da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá (RDSM), localizada no estado do Amazonas, e descreve a metodologia desenvolvida para a elaboração de uma base cartográfica digital atualizada em escala 1:100.000, a partir dos sensores orbitais IKONOS II, TM/LANDSAT 5 e de entrevistas com representantes dos usuários da reserva.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Caracterização geográfica da área de estudo

A área total da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá abrange 1.124.000 hectares e está inserida entre os municípios amazonenses Tefé, Maraã, Alvarães, Uarini, Juruá e Fonte Boa, distante 600 km a oeste da capital Manaus. Essa área também é definida especificamente como várzea do médio rio Solimões (Figura 1). Trata-se de uma área de floresta alagada, e a sua principal referência é a dinâmica sazonal do nível das águas. A sazonalidade é definida pelas estações de "vazante" (agosto a setembro), "seca" (outubro a novembro), "enchentes" (dezembro a abril) e "cheia" (maio a junho), conforme informações cedidas por representantes do manejo de pesca da Reserva Mamirauá. O alagamento sazonal do rio Solimões eleva o nível da água em média de 10 a 12 metros todos os anos. Assim, de acordo com Queiroz (2005), as várzeas são áreas de significativo valor ecológico devido ao alto grau de endemismo de espécies adaptadas às mudanças radicais da paisagem entre essas estações.

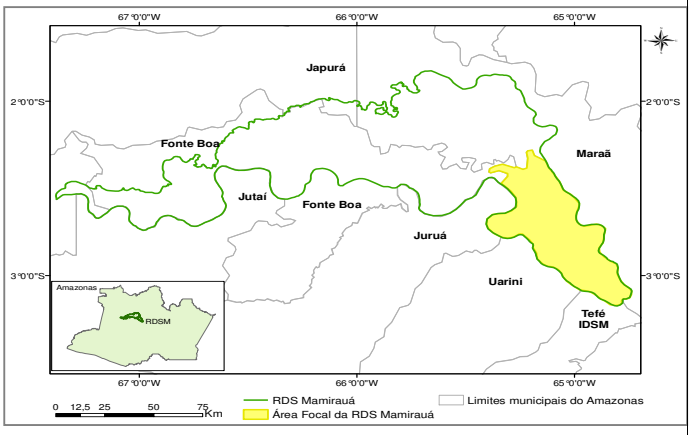

Figura 1 - Localização da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá, Amazonas

A Reserva de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá é considerada como um modelo inovador e que influenciou a configuração do Sistema Nacional de Unidades de Conservação - SNUC (Lei 9.982, 17/07/2002). Essa categoria de Unidade de Conservação foi criada na década de 1990 pelo governo do estado do Amazonas para proteger as áreas de relevante interesse ecológico habitadas por comunidades rurais, como é o caso de Mamirauá, e até então não havia nenhuma outra Reserva com o mesmo caráter no Brasil (Dias, 2008). Conforme o estabelecido pelo Decreto 4.340 de 22/08/2002, a gestão dessa categoria de Unidade de Conservação deve contar com um Conselho Gestor, do qual participam representantes de diversas instituições regionais e também de comunidades locais interessadas na conservação dos recursos naturais da área, ou seja, é obrigatória a gestão participativa.

No primeiro Plano de Manejo da Reserva Mamirauá, publicado em 1996, a área da Reserva foi dividida em Área Focal, com 260.000ha e Área Subsidiária, com 864.000 há, devido a sua grande extensão territorial. A primeira contém zonas de uso sustentável e de preservação permanente, gerenciadas pelo Instituto Mamirauá (IDSM) e a segunda será administrada de acordo com as experiências bem sucedidas da primeira. Assim, as normas do primeiro Plano de Manejo da Reserva, abrangem especificamente a Área Focal e foi elaborado a partir de pesquisas em diversas áreas do conhecimento científico e técnicas de "mapeamento participativo" com as comunidades ribeirinhas locais.

De acordo com Dias (2008), integrantes das comunidades ribeirinhas foram incentivados a desenhar a localização de suas vias de acesso e dos recursos naturais de maior uso para a posterior negociação dos limites das zonas de manejo sustentável. A partir dessa atividade, a Área Focal da Reserva foi subdividida em nove setores políticos (Aranapu, Barroso, Boa União, Horizonte, Ingá, Jarauá, Liberdade, Mamirauá e Tijuaca), de acordo com a organização prévia de representação das comunidades locais. Atualmente a Reserva é administrada pelo Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá (IDSM), cuja missão é produzir conhecimentos científicos e tecnologias apropriadas às demandas da realidade local em consonância com o manejo sustentável dos recursos naturais e a inclusão social (IDSM, 2006).

As especificidades geográficas da várzea amazônica tornam a gestão participativa da Reserva Mamirauá um desafio permanente. Na estação da cheia boa parte da área permanece alagada e ocorrem significativas alterações morfológicas nos corpos d'água (Ayres, 2005; Jardim-Lima et al, 2005). Peixoto et al. (2007) ao analisarem imagens orbitais TM/LANDSAT 5 sobre a várzea no médio Solimões detectaram que no período de 26/19/1984 a 04/09/2005, a RDS Mamirauá obteve cerca de 17.800 ha (≈6,85% da área focal) de áreas sedimentadas e cerca de 14.500 ha (≈5,57% da área focal) de áreas erodidas, ficando com um saldo de áreas de 3.300 ha (≈1,27% da área focal), aproximadamente.

A alteração nos nível das águas entre as estações do ano provoca mudanças significativas na paisagem, que, por sua vez, também influencia no deslocamento das comunidades ribeirinhas no intervalo de poucos anos (Lima, 1996), ou seja, é uma região natural e socialmente dinâmica. Em decorrência, ocorrem limitações quanto aos limites políticos estabelecidos para as atividades de manejo sustentável, como a quantidade e a localização de corpos d'água disponíveis para a pesca em um determinado setor da Área Focal. Tais alterações estão diretamente relacionadas aos conflitos na gestão da Reserva.

Os rios de água branca, como o Solimões, carregam muitos sedimentos criando extensas planícies inundáveis e um complexo ecossistema de ilhas, restingas, chavascais, paranás e outras formações específicas. No ecossistema de várzea o regime das águas afeta a geomorfologia, a flora e a fauna local, cria e destrói terrenos de forma veloz (Ayres, 2005). Essa área é conformada por uma rede diversificada de corpos d'água (rios, braços, paranás, furos, lagos, canais ou canos), ou seja, somente na Área Focal da Reserva Mamirauá há mais de 700 lagos (Dias, 2008).

Os processos geomorfológicos peculiares ao domínio morfoclimático amazônico influenciam nas formas resultantes da erosão pluviofluvial, que deram origem a elementos da drenagem da várzea amazônica. Tais elementos são os "igarapés", "paranás" e "furos", bem como, os lagos de terra firme e de várzea, conforme as denominações regionais (Nunes, 2008). Segundo Ab'Sáber (2003), a

nomenclatura popular para diferentes cursos d'água na Amazônia é muito rica e cada um desses nomes traduz conceitos obtidos através de vivências prolongadas, passando a ter, para os habitantes locais, um caráter referencial do espaço.

Nunes (2008) sistematizou a descrição física dessa rede de corpos d'água em seu trabalho. O extenso, largo e profundo braço de um grande rio, que na planície de inundação amazônica forma uma grande ilha, é denominado de "paraná". Os canais que nas várzeas amazônicas estabelecem comunicação entre o rio principal e o seu afluente mais próximo, acima da confluência definitiva, são os "furos". Os cursos de água de pouca extensão e reduzida largura, mas com bacias bem definidas, tanto da várzea como da terra firme, recebem o nome indígena de "igarapés" (Nunes, 2008).

Para as comunidades ribeirinhas da Reserva Mamirauá, a maior parte das formações de corpos d'água é denominada como "lagos" ou "paranás", os quais possuem também toponímias atribuídas historicamente, como, por exemplo, "lago Tucuxi", "Grande", "Cobra", entre outros (Dias, 2008). Todavia, de acordo com as estações da várzea, há corpos d'água temporários e perenes. A posição, o tamanho e o formato desses corpos d'água variam em poucos anos, podendo ocorrer até mesmo a extinção de alguns.

Muitos corpos d'água são utilizados para a pesca, que é tradicionalmente a principal atividade econômica das comunidades ribeirinhas locais. Assim, um aspecto importante que precisa ser considerado na gestão dessa área é a repartição dos "lagos" para cada setor político, que tem gerado conflitos internos quando há mudanças na posição geográfica, no tamanho ou na quantidade de lagos de um dado setor.

De acordo com o contexto apresentado, faz-se necessária a atualização sistemática das bases cartográficas digitais da Reserva Mamirauá para a produção de mapas temáticos em escalas de visualização maiores que 1:100.000. A metodologia a ser apresentada visa contribuir para destacar a potencialidade das geotecnologias como um instrumento que permite integrar as diferentes áreas de pesquisa do IDSM e a gestão das atividades de manejo sustentável através da implementação de SIGs.

2.2 Análise de dados cartográficos antigos e entrevistas com usuários

A primeira etapa do trabalho foi a coleta e análise do material cartográfico pré-existente, as demanda e expectativas em relação à aplicação de SIG na gestão das atividades de manejo sustentável na Reserva Mamirauá. Esse trabalho também contou com uma entrevista semi-estruturada realizada com os funcionários de informática do Instituto Mamirauá, coordenadores dos programas de manejo sustentável e alguns representantes de comunidades ribeirinhas residentes na Reserva.

O Instituto Mamirauá (IDSM) disponibilizou os dados cartográficos antigos que continham os setores políticos da Área Focal, a localização das comunidades ribeirinhas e a localização dos lagos da Área Focal. Esses dados foram digitalizados a partir de mapas analógicos com escala 1:250.000 produzidos no início da década de 1990. As toponímias das entidades não estavam corretamente cadastradas nos bancos de dados e havia erros topológicos típicos de um processo de digitalização feito por um operador sem experiência. A figura 2 apresenta alguns seguimentos extraídos de mapas temáticos que foram produzidos com a base cartográfica antiga com erros topológicos, conforme a indicação das setas pretas.

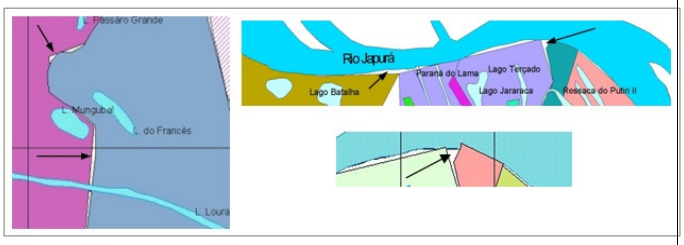

Figura 2 – Segmentos de mapas temáticos antigos que apresentavam erros topológicos entre os setores políticos da RDSM (escala 1:50.000), os quais foram elaborados a partir da digitalização de mapas analógicos da década de 1990.

Com relação ao polígono de corpos d'água, detectou-se disparidades de toponímias para entidades com as mesmas coordenadas geográficas e toponímias iguais para entidades com coordenadas geográficas diferentes. Além dos dados cartográficos antigos, também foram realizadas entrevistas semi-

estruturadas com representantes dos Programas de Manejo Sustentável da Pesca, da Agricultura Familiar Sustentável, da Fiscalização e do setor de Informática. As entrevistas foram realizadas para captar a percepção dos usuários em relação à importância do instrumental do SIG na gestão da Reserva, as principais dificuldades para a sua utilização sistemática e, principalmente, para confirmar as toponímias das entidades para a nova base cartográfica.

A sistematização correta das respectivas toponímias no banco de dados geográfico também é fundamental para que as informações contidas nos mapas temáticos possam ser compreendidas adequadamente por todos os usuários. A principal função desses mapas é definir e divulgar as áreas de uso para cada comunidade ribeirinha residente na Reserva e, nesse sentido, a representação equivocada de uma dada delimitação territorial pode autorizar a exploração dos territórios vizinhos. Isso ocorre porque as comunidades locais compreendem bem a linguagem dos mapas como uma forma de representação de seus espaços de ação na Reserva e, principalmente, como uma referência normativa para os limites das áreas de manejo sustentável. Tal compreensão e aceitação é resultado das atividades de "mapeamento participativo", desenvolvidas desde o primeiro Plano de Manejo da reserva, na década de 1990 (Dias, 2008).

Então, o presente trabalho definiu atualizar as camadas de informações vetoriais pré-existentes e cadastrar as corretas toponímias nos bancos de dados das seguintes camadas: comunidades locais, flututuantes de pesquisa, principais corpos d'água e limites políticos dos setores da Área Focal. Essas camadas foram vetorizadas a partir das imagens TM/LANDSAT-5 e IKONOS II disponibilizadas pelo IDSM para esse trabalho, conforme será apresentado no próximo tópico.

2.2.1 Elaboração das camadas vetoriais a partir das imagens orbitais disponíveis

Após a avaliação das demandas a partir das entrevistas semi-estruturadas, partiu-se para a coleta das coordenadas geográficas das comunidades (ribeirinhas e indígenas) residentes no interior da Área Focal da Reserva e das bases de pesquisa flutuantes. Para esse mapeamento foi utilizado o aparelho GPS de navegação *Garmin Map 76CS*, com precisão de 15 metros e configurado com Datum WGS 84, Fuso 20 Sul. Esta etapa foi realizada durante a expedição de campo na Reserva, em julho de 2007.

As coordenadas coletadas foram exportados para o formato de vetorial de pontos no *software* ArcGis 9.2. No total, foram mapeadas 58 comunidades e no banco de dados desse shapefile foram criados o campos para o "Nome" da comunidade, "População_1998", "População_2005" e "População 2008", nos quais foram cadastrados os respectivos dados. Esses campos permitem a elaboração de séries históricas sobre a demografia local. Também foram criados campos específicos para a identificação da presença ou ausência de infra-estruturas de energia e comunicação, como, por exemplo, existência ou não de telefones, rádio e placas de energia solar nas comunidades.

A segunda etapa se concentrou no geoprocessamento das imagens orbitais disponibilizadas pelo Instituto Mamirauá para: IKONOS II e TM/LANDSAT 5. Essa etapa foi realizada com ajuda do software ENVI 4.1 (Sulsoft).

O sensor IKONOS II, operado pela SPACE IMAGING - EUA, lançado em 1999, é um satélite comercial com alta resolução espacial. As faixas imageadas alcançam 13 km e na opção multiespectral (bandas 1-Azul, 2-Verde, 3-Vermelho e 4-Infra-Vermelho próximo) a resolução espacial é de 4 metros. Na opção pancromática esse sensor possui resolução espacial de 1m. A resolução radiométrica é de 11 bits (2048 níveis de cinza), ou seja, possui o poder de contraste e de discriminação nas imagens muito superior à maioria dos sensores orbitais existentes atualmente (Pinheiro, 2003; Rocha, 2007).

Devido ao alto custo dessas imagens, o Instituto Mamirauá adquiriu apenas uma amostra em relação à área total da Reserva para desenvolver estudos pilotos de modelagens em SIG e atualização da base cartográfica digital com alta resolução espacial (imagens foram compradas da empresa GeoEye). Para cobrir toda a área da Reserva seria necessário adquirir mais de 800 cenas do sensor IKONOS II e para cobrir a Área Focal são necessárias mais de 100 cenas.

A cobertura do maior número possível de ações

que demandam mapas temáticos na Reserva Mamirauá foi o critério utilizado pelos coordenadores do IDSM para a escolha da área-piloto do IKONOS II. A amostra adquirida possui 22 cenas, que foram imageadas no dia 09 de setembro de 2006 (estação de vazante na várzea amazônica) e registram somente 1% de nuvens. Essas cenas cobrem os setores políticos Jarauá, Tijuaca e Coraci, delimitados na Área Focal da Reserva (área pontilhada na Figura 2). As mesmas também foram adquiridas com sistema de projeção UTM, Datum WGS84, fuso 20 Sul e com interpolação pelo método de convolução cúbica.

Para complementar as áreas não cobertas pelas cenas IKONOS II, o presente trabalho também utilizou um mosaico formado por cenas do sensor TM/LANDSAT 5, que foi disponibilizado pelo Instituto Mamirauá (IDSM) já com a composição de bandas em falsa cor e nível 6 de correção. As cenas desse mosaico foram imageadas no dia 19 de agosto de 1999 (estação de vazante na várzea amazônica) e estão georeferenciadas com projeção UTM, Datum WGS84, fuso 20 Sul (órbitas-ponto 001-61, 002-61 e 002-62). Esse mosaico cobre toda a área da Reserva (1.124.000 hectares) com apenas 1% de nuvens, fatores que tornam essa imagem importante para o trabalho de elaboração da base cartográfica.

As imagens orbitais utilizadas nesse trabalho (IKONOS II e TM/LANDSAT 5) correspondem à estação de vazante na várzea amazônica. Imagens nessa estação possibilitam a identificação mais detalhada de corpos d'água perenes e também dos temporários. Na estação de seca a grande maioria dos lagos diminui muito em extensão e/ou secam; já na estação da cheia a área da Reserva permanece praticamente toda alagada. Tais alterações na paisagem dificultam a delimitação precisa dos limites e feições dos corpos d'água, principalmente dos mais utilizados nas atividades de manejo sustentável, por essa razão o IDSM disponibilizou imagens da estação de vazante. A figura 3 apresenta a área do mosaico TM/LANDSAT 5 e do IKONOS II.

A classificação e diferenciação entre os alvos é uma das funções prioritárias do processamento digital de imagens de orbitais. Dessa forma, para a correta distinção e identificação visual dos alvos, optou-se inicialmente pela reambulação temática das principais feições apresentadas no mosaico TM/LANDSAT 5. Os valores espectrais dos principais alvos foram extraídos no *software* ENVI 4.2 e a confirmação foi realizada com aparelho GPS durante o mesmo campo em que foram coletadas as coordenadas geográficas das comunidades locais.

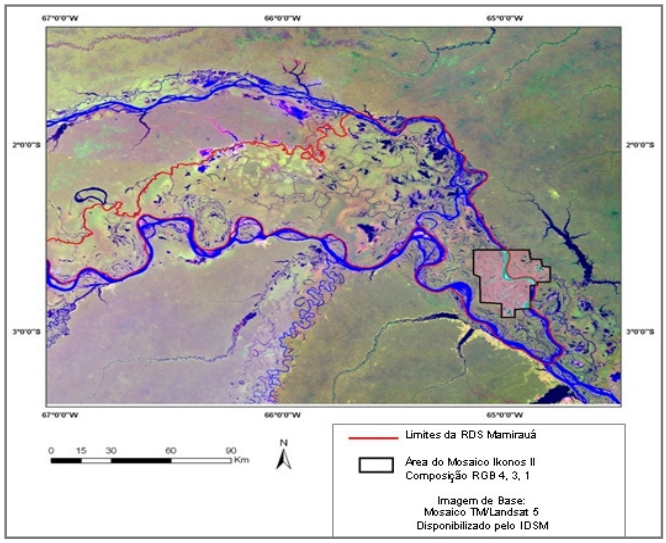

Figura 3 – Mosaico TM/LANDSAT-5 e área coberta pelas 22 cenas do sensor IKONOS II (Dias, 2008).

Após a reambulação, foram aplicas técnicas de realce da imagem LANDSAT a partir da filtragem de freqüências. As técnicas de filtragem são muito empregadas no tratamento de imagens digitais com várias finalidades, tais como o realce de bordas, eliminação de ruídos, suavização de contraste ou ainda na identificação de feições lineares não perceptíveis na imagem original. Essas técnicas consistem em realçar seletivamente as feições de alta, média ou baixa freqüência que compõem as imagens de sensoriamento remoto a partir das mudanças de um intervalo de Nível de Cinza (NC) para outro (Crosta, 1993).

Diferentes filtros foram aplicados no mosaico LANDSAT a partir da ferramenta Convolitions and Morphology (Envi 4.2), tais como Passa-baixa, Passa-alta, Passa-banda, Roberts e Sobel, que auxiliaram na distinção dos limites e formas das feições importantes para a base cartográfica, principalmente na delimitação dos corpos d'água presentes na Área

Focal da Reserva. A figura 4 apresenta um mesmo segmento do mosaico LANDSAT após a aplicação dos distintos filtros.

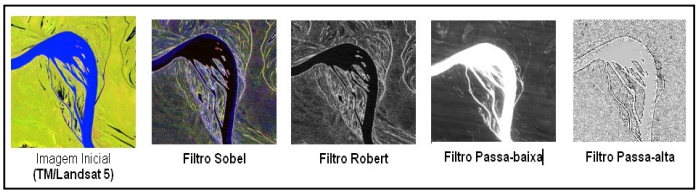

Figura 4 – Filtros aplicados sobre o mosaico TM/LANDSATLANDSAT 5.

No trabalho de processamento das cenas IKONOS II foram criados quatro mosaicos com as 22 cenas, ou seja, um mosaico para cada uma das bandas do sensor: azul, verde, vermelho e infravermelho. Não foi necessário realizar correção radiométrica nas cenas IKONOS II, pois a qualidade das mesmas se mostrou satisfatória para a discriminação dos alvos do projeto da nova base cartográfica.

Posteriormente, foram geradas várias composições coloridas com os mosaicos e análise das opções que melhor ajudavam na distinção visual e classificação entre corpos d'água, bancos de areia, vegetação e áreas desmatadas. As aferições visuais utilizadas para a seleção das melhores composições para a classificação dos alvos foram de forma, tons de cor, texturas, localização e associações orientadas pela experiência de pesquisadores do IDSM.

As imagens LANDSAT com os filtros e as composições coloridas dos mosaicos IKONOS II foram exportados em formato .tiff para um novo projeto no *software* ArcGis 9.2. Os mosaicos IKONOS II foram registrados nesse mesmo *software* utilizando 12 pontos de controle bem distribuídos (transformação polinomial de 2º ordem) a partir da imagem TM/LANDSAT 5. Esse registro foi realizado para a adequada sobreposição das imagens e, assim, iniciar a vetorização manual dos corpos d'água.

Os alvos (corpos d'água) foram vetorizados no formato de polígonos, na escala 1:100.000, a partir da ferramenta ArcEditor, que disponibiliza uma série de funções específicas para a eliminação de erros no processo de digitalização, tais como linhas desconectadas ou polígonos abertos. Na tabela de atributos do arquivo dos corpos d' água foi incluído os campos "nome do corpo d'água" (toponímias atribuídas pelos usuários), "setor político" e "tipologia" (para distinguir entre Canos, Igarapés, Paranás, etc., conforme as atribuições dos usuários).

Após a vetorização iniciou-se o processo de cadastramento e padronização das toponímias dos corpos d'água, que contou com coleta de dados existentes nos registros dos arquivos antigos da Reserva (no formato de pontos) e também com as entrevistas realizadas. Para a eliminação de divergências quanto às toponímias, durante as entrevistas foram utilizadas as cartas das imagens orbitais impressas em folhas A3, na escala 1:50.000 das imagens TM/LANDSAT 5 e IKONOS II. Assim, os entrevistados indicavam as toponímias para alvos sobre as imagens, que não constavam nas bases de dados antigas e/ou que apresentava divergências.

Finalmente, os limites políticos da Reserva foram atualizados com a correção dos erros topológicos de vizinhança entre os polígonos, ou seja, foi realizada apenas a atualização do shapefile existente no IDSM. Essa correção também foi elaborada com a ferramenta ArcEditor e as áreas dos respectivos setores foram mantidas conforme a definição do último Plano de Manejo da Reserva. Na tabela de atributos dos setores políticos (banco de dados geográfico) foi mantido o campo "nome do setor".

4. RESULTADOS

Com as entrevistas semi-estruturadas identificou-se que os programas de manejo florestal, manejo da pesca e manejo de agricultura familiar são as atividades que mais demandam mapas temáticos na Reserva, ou seja, produtos de um SIG. Especificamente, os coordenadores desses programas indicaram que as atividades que mais demandam mapas temáticos como instrumento de análise são: monitoramento ambiental (desmatamento, queimadas, comunidades ilegais, pesca ilegal); prospecção de recursos naturais; acompanhamento demográfico ou sócio-cultural; auxílio no planejamento das atividades de manejo; mapeamento específico para as pesquisas técnico-científicas e delimitação dos talhões de extração nas áreas de manejo florestal.

Em relação ao grau de contribuição das geotecnologias para a tomada de decisão, a maioria

dos entrevistados responderam que atualmente havia média contribuição para as atividades de manejo sustentável desenvolvidas na Reserva. As principais justificativas foram a falta de dados atualizados e/ou precisos nos mapas, a dificuldade em organizar bancos de dados com coordenadas geográficas de forma sistematizada e que os mapas apresentavam erros de coordenadas geográficas, pois as mesmas não foram anotadas adequadamente em campo porque não havia um corpo de profissionais especializados para tal atividade. Nesse sentido, os respondentes confirmaram que, se a atividade de mapeamento for mal conduzida, esse instrumento pode gerar mais coflitos com as comunidades locais. Os representantes das comunidades locais reconhecem quando os mapas apresentam informações diferentes em relação à realidade da organização espacial da Reserva que eles conhecem na prática e essa divergência gera desconfianças quanto às normas estabelecidas nas atividades de manejo sustentável.

A análise dos dados cartográficos pré-existentes da RDSM confirmou os problemas relatados pelos entrevistados, pois havia erros estruturais referentes à topologia dos polígonos e no cadastro das toponímias. Assim, a estrutura dos dados cartográficos encontrados confirmou a necessária atualização da base cartográfica até então utilizada para as atividades de gestão e planejamento na Reserva Mamirauá. Os principais erros encontrados estão e que foram corrigidos estão listados a seguir:

1º Localização geográfica desatualizada das comunidades residentes no interior da Reserva;

2º Corpos d'água com localizações geográficas diferentes, dentro de um mesmo setor político, com o mesmo atributo "nome" (toponímia) nos bancos de dados;

3º Corpos d'água ainda não identificados com as respectivas toponímias nas bases de dados antigas;

4º Inexistência de uma sistematização coerente para as categorias de corpos d'água entre os atributos dos shapefiles antigos. Não havia nenhuma base de dados com um campo específico para diferenciar as categorias de rios, lagos, canos, paranás, igarapés e ressacas, entre outras provenientes da cultura regional ou de trabalhos científicos sobre as características físicas da rede de corpos d'água da área.

Na etapa da digitalização dos alvos no mosaico TM/Landsat 5, os filtros de Robert e Sobel foram mais eficientes para a distinção visual dos limites dos alvos na etapa da vetorização. Em relação aos mosaicos IKONOS II, a composição colorida RGB 1, 3, 4 se mostrou mais adequada para a identificação visual de bancos de areia e delimitação das ilhas; enquanto a composição RGB 3, 2, 1 foi mais adequada para a identificação das casas de comunidades ribeirinhas. Essas duas composições também se mostraram eficientes para distinção e delimitação visual dos corpos d'água presentes na Reserva, conforme pode ser verificado nas figuras 5 e 6.

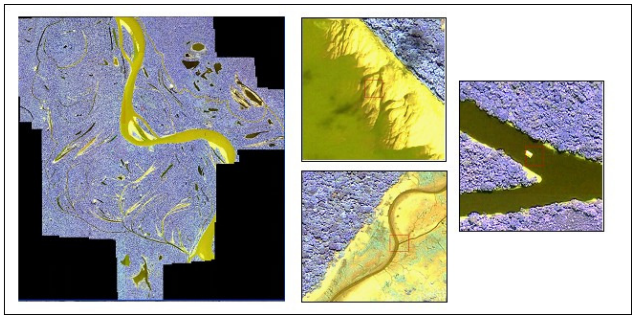

Figura 5 - Mosaico IKONOS II, composição R1,G3, B4 e detalhes de bancos de areia e corpos d'água

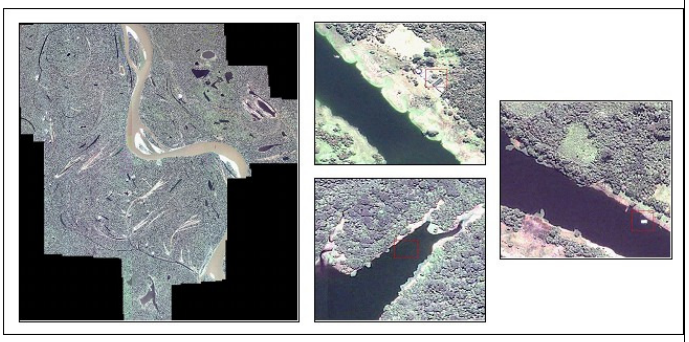

Figura 6 - Mosaico IKONOS II, composição R3,G2, B1 e detalhes da vegetação, áreas desmatadas e casas de comunidades ribeirinhas nas margens do Solimões

A partir das imagens utilizadas, foram vetorizados e cadastrados 753 corpos d'água na Área Focal da Reserva. A figura 7 apresenta um segmento Área Focal com os corpos d'água vetorizados e os setores políticos com a topologia corrigida (ambos em formato de polígonos). As setas pretas na Figura 6 indicam alguns corpos d'água que se encontram entre os limites de mais de um setor político e, de acordo

com os entrevistados, são exemplos de localidades com potencial para conflitos entre as comunidades locais no manejo da pesca.

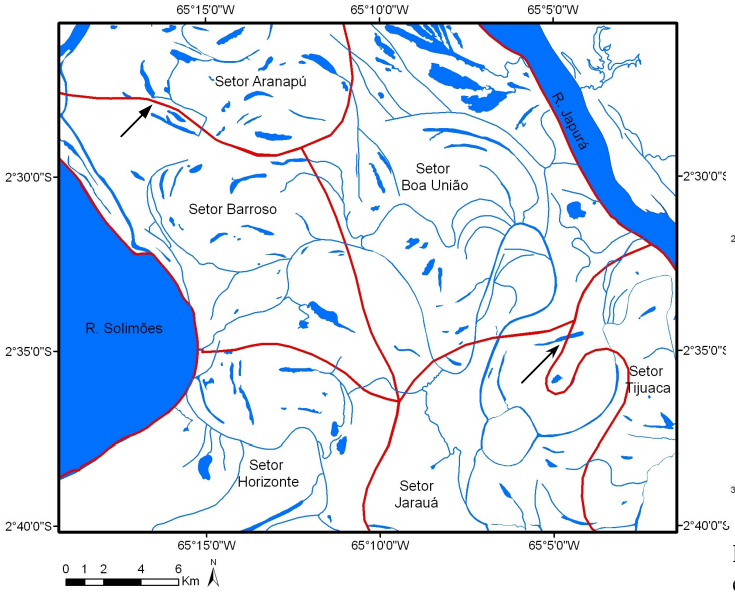

Figura 7 – Corpos d'água vetorizados e setores políticos na Área Focal da Reserva Mamirauá.

Foram geradas 5 arquivos referentes à Área Focal da Reserva Mamirauá: 1. Comunidades (pontos), 2. Flutuantes de Pesquisa (pontos), 3. Corpos d'água (polígonos), 4. Ilhas (polígonos), 5. Setores políticos (polígonos). As camadas possuem tabelas de atributos com toponímias padronizadas que possibilitam a inserção posterior de dados quantitativos e qualitativos associados aos identificadores dos registros centrais cadastrados (corpos d'água, ilhas, comunidades, etc.). Com as bases cartográficas atualizadas é possível gerar análises de proximidade (buffer), de distâncias, densidades de objetos ou ações que ocorrem na Reserva, entre outras opções que darão suporte ao planejamento e à elaboração de relatórios técnico-científicos. Assim, a nova base permite gerar mapas corocromáticos ou coropléticos em *softwares* de SIG que aceitem o formato *shapefile*.

A Figura 8 apresenta um mapa temático, que sobrepõe todas as camadas digitais atualizadas, destacando as comunidades residentes na área e os setores políticos.

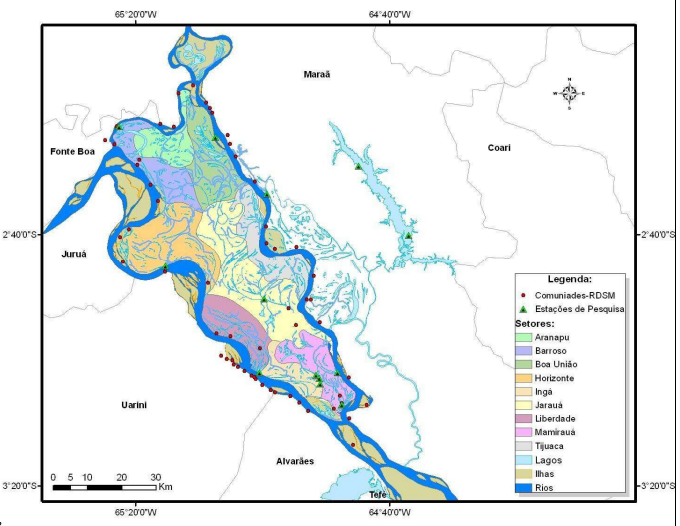

Figura 8 – Mapa temático atualizado da configuração espacial na Área Focal da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá - Amazonas.

5. DISCUSSÃO

Existem diferentes metodologias para identificar as ameaças ou conflitos políticos que permeiam a gestão de uma Unidade de Conservação após a elaboração do Plano de Manejo. Dentre elas, pode-se considerar fundamental a implementação de um programa de monitoramento contínuo com Sistema de Informação Geográfica (SIG) para dar suporte ao planejamento e à gestão dessas áreas. O monitoramento representa a avaliação periódica de atributos quantitativos e qualitativos do ambiente, os quais podem ser ecológicos, físicos, sociais ou econômicos, possibilitando, assim, analisar problemas potenciais e planejar ações mitigadoras.

Contudo, caso não ocorra um controle de qualidade dos atributos inseridos no banco de dados para a definição quantitativa e qualitativa das entidades geográficas, o resultado final será um mapa colorido, capaz de impressionar, mas, na prática é impróprio para a tomada de decisões e/ou diálogo entre os usuários a área. Principalmente em Unidades de Cobservação de Uso Sustentável, onde o uso dos

recursos precisa ser negociado e discutido entre atores com conhecimentos e objetivos diferentes sobre a natureza (pesquisadores, governantes e comunidades tradicionais). Dessa forma, controvérsias na delimitação de zonas de manejo e de proteção integral, bem como das toponíminas dos alvos, podem gerar muitos conflitos.

A Reserva Mamirauá é um exemplo de destaque em relação ao objetivo de sustentabilidade dos recursos naturais na Amazônia brasileira e há cerca de cinco anos vem investimento em geotecnologias como instrumento de suporte à decisão na gestão das atividades de manejo sustentável. Por se tratar de uma região de várzea, cuja organização espacial (social e natural) está diretamente associada à dinâmica da rede hidrográfica ao longo do ano, a atualização da base cartográfica é uma demanda freqüente para a gestão e fiscalização da RDS Mamirauá.

Entre as camadas de informação em um SIG para a RDS Mamirauá, o detalhamento preciso dos corpos d'água é fundamental porque são alvos diretamente ligados às atividades de manejo da pesca nas comunidades ribeirinhas locais, atividade que historicamente tem gerado muitos conflitos na região. Outro fator importante a ser considerado é que os alvos mapeados (corpos d'água) sofrem alterações morfológicas rápidas através dos movimentos de massa sedimentar e a localização desatualizada ou imprecisa desses alvos pode gerar mais conflitos entre as comunidades locais, conforme os entrevistados relataram. Além da localização geográfica atualizada, as toponímias corretas também são importantes porque são referências históricas e tradicionais para as comunidades locais, as quais não podem ser negligenciadas na dinâmica democrática do Conselho Gestor de uma Unidade de Conservação de Desenvolvimento Sustentável.

As comunidades residentes na Reserva negociam a quantidade de lagos para cada setor, mas quando um corpo d'água se desloca para a área de outro setor ou seca definitivamente, as regras se desfazem e surgem conflitos pela exploração dos recursos de outro setor político. Nesse contexto, a sistematização da base cartográfica atualizada auxilia no diálogo entre os atores locais e na legitimação das diretrizes estabelecidas pelo Conselho Gestor da Reserva, pois os representantes das comunidades locais, que participam dos programas de manejo sustentável, já estão habituados com a linguagem cartográfica utilizada desde a elaboração do primeiro Plano de Manejo.

Considerando que a maior parte das Unidades de Conservação delimitadas na Amazônia brasileira ainda não possui nem mesmo um Plano de Manejo, a possibilidade de avançar na direção de uma gestão participativa utilizando instrumentos como os mapas temáticos atualizados sistematicamente, com escala superior a 1:100.000 e com o intuito de mediar o diálogo entre os integrantes do Conselho Gestor, destaca o papel importante da RDS Mamirauá no cenário da Amazônia brasileira.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos em primeiro lugar ao Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá por ter permitido a realização da pesquisa na Reserva, pelo barco e demais equipamentos necessários para a realização dessa pesquisa. Agradecemos também o apoio dos pesquisadores e funcionários do Instituto Mamirauá, assim como dos representantes das comunidades Ribeirinhas que forneceram informações sobre as toponímias mais utilizadas para os alvos da base cartográfica durante as entrevistas.

Agradecemos o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao "Prêmio Samuel Benchimol 2006" e ao financiamento do Programa "Petrobrás Ambiental", os quais possibilitaram o desenvolvimento da dissertação de mestrado que deu origem ao artigo.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alves, A. R. P; Queiroz, H. L. de. Relatórios anuais das atividades desenvolvidas na Reserva de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá. Tefé: IDSM, 2003, 2004, 2005 e 2006.

Ayres, J. M.; Queiroz, H. L. de, 2005. Corredores Ecológicos das Florestas Tropicais do Brasil. Belém: SCM.

Agenda 21 Global, 1992. Comissão das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento.

Disponível em: www.mma.gov.br [acessado em março de 2009].

Brito, M.C.W., 2000. Unidades de Conservação: intenções e resultados. São Paulo: Annablume/FAPESP.

Burrough, P.A., 1986. Principles of geographical information systems for land resources assessment. Oxford: Clarendon Press.

Câmara, G., Davis, C.; e Monteiro, A. M. V., 2001. Introdução à Ciência da Geoinformação. São José dos Campos: INPE. Disponível em: www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd [acessado em novembro de 2009].

Castillo, R., 1999. Sistemas orbitais e uso do território: integração eletrônica e conhecimento digital do território. São Paulo: DG-FFLCH-USP, Tese de Doutorado em Geografia.

Cruz, Z. Q. da; Silveira, J. C.; Ribeiro, G. P., 2009. Ensaios de segmentação e classificação digital de uma unidade de conservação com imagens CBERS utilizando o sistema SPRING Estudo de caso: Parque Nacional da Serra dos Órgãos (PARNASO). In: Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, INPE/Natal, abril 2009, pp. 6853-6860.

Crosta, A.P., 1993. Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto. Campinas: Editora da UNICAMP.

Dias, J. M., 2008. A aplicação de Geotecnologias na Gestão da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá. Dissertação de Mestrado, IG-DPCT-UNICAMP.

Garay, I. e Dias, B.F.S. (orgs), 2001. Conservação da Biodiversidade em Ecossistemas Tropicais – Avanços conceituais e novas metodologias de avaliação e monitoramento. Petrópolis: Vozes.

Jacintho, L. R. de C., 2003. Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto como Ferramentas na Gestão Ambiental de Unidades de Conservação: O caso da APA do Capivari-Monos – SP. Dissertação de Mestrado, IG-USP.

Jamel, C. E. G.; Figueiredo, C.; França, C. R. D. e Pintos, D. de O. d'El R., 2007. Utilização de geoprocessamento no zoneamento de unidades de conservação – O caso do Parque Estadual do Desengano – RJ. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis/INPE, abril 2007, p. 2737-2743.

Jardim-Lima, D.; Piedade, M. T. F.; Queiroz, H. L. de; Novo, E. M. L. de M.; Rennó, C. D., 2005. A dinâmica do Pulso de inundação: aplicações de sensoriamento remoto na avaliação da área de águas abertas e morfologia dos lagos de várzea da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá - Amazônia Central. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia/INPE, abril 2005, pp. 3069-3076.

Júnior, J. de R. P.; Silva, P. A. da; Costa, L. A. da; Barros, S., 2007. Classificação da cobertura do solo por meio de imagem CBERS na área do entorno da Reserva Florestal Adolpho Ducke, Manaus-AM. In: Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia/INPE, abril 2005, pp. 1063-1065.

Lima, D. de M., 1996. O Envolvimento de Populações Humanas em Unidades de Conservação. A Experiência de Mamirauá. In: Ramos, A. e Capobianco, J. P. (orgs.). Unidades de Conservação no Brasil: aspectos gerais, experiências inovadoras e nova legislação (SNUC). Documentos do ISA, n.1.

Medeiros, R., 2006. Evolução das tipologias e categorias de Áreas protegidas no Brasil. In: Revista Ambiente e Sociedade, v. 9, n.1, p. 41-64.

Nunes, G. M., 2008. Sensoriamento remoto aplicado na análise da cobertura vegetal das reservas de desenvolvimento sustentável Amanã e Mamirauá. Tese de Doutorado, IG-DGRN-UNICAMP.

Oliveira, F., 2006. A CONCAR e o desafio de mapear o Brasil. In: Revista InfoGeo, n.45. Disponível em: www.mundogeo.com.br/revistas-interna.php?id_noticia=7164 [acessado em março de 2008].

Peixoto, J. M. A.; Nelson, B. W. e Wittmann, F., 2007. Utilização da técnica de detecção de mudanças para determinação do turn-over de sedimentos em uma floresta de várzea do médio rio Solimões. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis/INPE, abril de 2007, pp. 6901-6903.

Pinheiro, E. S., 2003. Imagens com alta resolução espacial: novas perspectivas para o sensoriamento remoto. In: Revista Espaço e Geografia, vol.6, n.1,

pp. 49-69.

Queiroz, H. L., 2005. A reserva de desenvolvimento sustentável Mamirauá. In: *Revista* Estudos Avançados. vol.19 n.54, pp. 183-203.

Rocha, C. H. B., 2007. Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar. Juiz de Fora: UFJF.

Storni, A.; Peralta, M.; Marmontel, M. e Soares, I., 2006. Diagnóstico geral da RDSM. Tefé: IDSM.