UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

WILSON ANDERSON HOLLER

SISTEMA DE MONITORAMENTO DE OBRAS VIA SATÉLITE

CURITIBA
2011

WILSON ANDERSON HOLLER

SISTEMA DE MONITORAMENTO DE OBRAS VIA SATÉLITE

Monografia apresentada para obtenção do título de Especialista em Geoprocessamento no curso de Pós-graduação em Geoprocessamento, Departamento de Arquitetura, Universidade Federal do Paraná.

Orientadora: Prof. Msc. Lisana K. Schmitz

CURITIBA
2011

TERMO DE APROVAÇÃO

WILSON ANDERSON HOLLER

SISTEMA DE MONITORAMENTO DE OBRAS VIA SATÉLITE

Monografia aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Especialista no Curso de Especialização em Geoprocessamento, Setor de Tecnologia, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

Orientador: **Lisana Kátia Schmitz Santos**
Curso de Especialização em Geoprocessamento – UFPR

Avaliadores: **Carlos Eduardo Felsky Filho**
Curso de Especialização em Geoprocessamento – UFPR

Curitiba, 04 de maio de 2011.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida, benção e proteção.

A professora Lisana K. Schmitz, pela orientação, apoio, confiança e principalmente paciência.

Aos colegas da Embrapa Monitoramento por Satélite e em especial área de Gestão Territorial Estratégica pela colaboração na realização deste trabalho.

Ao Centro Integrado de Estudos em Geoprocessamento pelo aprendizado e amizades conquistadas.

Aos colegas de trabalho: Vera Viana dos Santos, Paulo Martinho, Davi Custódio, Bianca Pedroni, Edlene Garçom, Sâmara Trajano e Márcia Rocha pela forte contribuição nesta monografia.

Um especial agradecimento aos meus pais Estevão Holler e Marlene Chimanski Holler pelo constante apoio.

RESUMO

O Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), lançado em 2007, é um programa estratégico do Governo Federal que previu investimentos na recuperação e implantação de novas obras para infraestrutura, além de medidas para aumentar o ritmo de crescimento econômico do país. São mais de doze mil obras, de diversas naturezas e valores, com cronogramas de implantação diferentes, nas mais diversas localizações geográficas e de condições de implantação. Em virtude da grandiosidade de valores, obras e consequentemente importância ao país o Presidente da República solicitou um monitoramento atualizado e circunstanciado do andamento e da execução das obras e de sua dinâmica. Dentre os desafios encontrados para atender a esta demanda destacam-se: organizar mais de 78.000 km^2 de imagens de satélite, desenvolver e gerenciar um banco de dados com os metadados das obras monitoradas, desenvolver uma interface que possibilite a interpretação de imagens (*webmapping*), definir um processo de classificação de imagens simplificado para as obras e conseqüente monitoramento de obras de infraestrutura, passíveis de observação do espaço. Foram selecionadas, pela Casa Civil, 430 pontos de obra para monitorar. O sistema de monitoramento utiliza imagens de satélite de vários sensores de alta resolução espacial com aquisição de imagens em datas distintas e regular para uma mesma obra. A organização dos arquivos proposta é hierárquica recursiva e ajuda na pesquisa das imagens de satélite adquiridas pela Embrapa Monitoramento por Satélite. À medida que novas imagens forem inseridas no banco de dados, já estarão organizadas em uma estrutura lógica, sem prejudicar a busca pelas imagens antigas cadastradas. A padronização proposta para classificação das imagens de diferentes sensores e características minimiza a intensidade de informações disponibilizadas pelas imagens de alta resolução, e permite a comparação entre diferentes sensores. Assim, limitar a área de influência direta e do entorno da obra, mostrou-se promissor, pois torna o processo mais ágil e preciso no processo de interpretação e classificação. A utilização de imagens de alta resolução padronizadas como proposto juntamente com o algoritmo da máxima verossimilhança se mostraram eficientes como suporte para avaliação da ocupação das terras tomadas pelas obras (área de influência direta) e do seu entorno. A interface desenvolvida vem sendo aplicada no projeto PAC 10 e pode ser utilizada em situações nas quais o monitoramento, por meio do uso de imagens de satélite, é necessário e viável. A interface *webmapping* desenvolvida permitiu aos clientes do projeto o gerenciamento e a interpretação das imagens de satélite proporcionando maior produtividade nas interpretações das imagens e consequentemente satisfação ao usuário. Além da interface *webmapping*, foi criada também a interface de cadastro dos metadados das obras e imagens. Esta ferramenta mostrou-se adequada para a gestão de metadados de obras de infraestrutura e imagens de satélite do projeto PAC 10. Essa estrutura pode ser aplicada em situações nas quais o monitoramento por meio do uso de imagens orbitais se faz necessário, pois permite uma atualização das imagens para uma determinada região sem comprometer o padrão de organização, facilitando a incorporação de novas imagens de satélite.

ABSTRACT

The Growth Acceleration Program (GAP), launched in 2007, is a strategic program of the federal government predicted that investments in rehabilitation and construction of new works for infrastructure, and measures to increase the pace of economic growth in the country. There are over twelve thousand works of various kinds and values, with different deployment schedules, in several geographical locations and conditions of deployment. Given the enormity of values, and consequently works important to the country the President of Republic has requested an updated and detailed monitoring of progress and the works and its dynamics. Among the challenges encountered to meet this demand include: organizing more than 78,000 km2 of satellite images, develop and manage a database with the metadata of the monitored projects, develop an interface that makes image interpretation (webmapping) define an image classification process simplified for the works and subsequent monitoring of infrastructure works, capable of space observation. Were selected by the Civil House, 430 points to monitor the work. The monitoring system uses satellite imagery from multiple sensors with high spatial resolution image acquisition at different dates and regular for the same work. The proposed file organization is hierarchical and recursive research assistance of satellite images acquired by Embrapa Satellite Monitoring. As new images are inserted in the database, are already organized in a logical structure, without affecting the search for listings older images. The standard proposed for classification of images from different sensors and minimizes the intensity characteristics of information provided by high-resolution images, and allows comparison between different sensors. Thus, limiting the area of direct influence and the area surrounding the site, may be promising, because it makes the process faster and more accurate in the process of interpretation and classification. The use of standardized high-resolution images as proposed with the maximum likelihood algorithm has proved effective as a support for evaluation of occupation of lands taken by the works (the area of direct influence) and its surroundings. The developed interface design has been applied in GAP 10 and can be used in situations in which monitoring, through the use of satellite imagery, it is necessary and feasible. The interface allows customers to webmapping developed project management and interpretation of satellite images for higher productivity in the interpretation of images and consequently the user satisfaction. Besides webmapping interface, the interface was also created to register the metadata of the works and images. This tool proved to be suitable for metadata management infrastructure works and satellite images of the project GAP 10. This structure can be applied in situations in which monitoring through the use of satellite images is necessary because it allows an update of the images for a given region without compromising the standard of organization, facilitating the incorporation of new satellite images.

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - ETAPAS DE REQUISIÇÃO E CONTROLE DAS IMAGENS ORBITAIS. 4
TABELA 2 - EIXO E TIPOLOGIA DOS PONTOS DE OBRAS DO PAC. 15
TABELA 3 - TOTAL DE PONTOS DE OBRA MONITORADOS POR EIXO E REGIÃO. 15
TABELA 4 - ESPECIFICAÇÕES BÁSICAS DOS SENSORES UTILIZADOS NESTE PROJETO. 16
TABELA 5 - QUANTIDADE DE IMAGENS EM KM2 ADQUIRIDAS POR SATÉLITE NO PERÍODO DE 2008 À FEVEREIRO DE 2011. 17
TABELA 6 - IDENTIFICAÇÃO E ALGUMAS CARACTERÍSTICAS DAS IMAGENS DE SATÉLITES DE ALTA RESOLUÇÃO ESPACIAL UTILIZADAS NO MONITORAMENTO DAS DIVERSAS OBRAS DE INFRA-ESTRUTURA DO PAC. 39
TABELA 7 - EXEMPLO DE IMAGENS DE UMA OBRA 55
TABELA 8 - MATRIZ DE CONFUSÃO, EM VALORES ABSOLUTOS, PARA COMPARAÇÃO ENTRE A CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA (CLASSES) E VERDADE DE CAMPO (REFERENCIA, IMAGEM DA FUSÃO MSPAN) DO SATÉLITE DE ALTA RESOLUÇÃO IKONOS II. 57
TABELA 9 - VALORES DO ÍNDICE KAPPA INDIVIDUAL E GLOBAL PARA AS IMAGENS IKONOS II E MÉTODO DE CLASSIFICAÇÃO DA MÁXIMA VEROSSIMILHANÇA 58
TABELA 10 - VALOR PARA AVALIAR O GRAU DE CONCORDÂNCIA A PARTIR DO ÍNDICE KAPPA 59
TABELA 11 - IMAGENS UTILIZADAS PARA A COMPARAÇÃO TEMPORAL DA UHE ESTREITO. 59
TABELA 12 - DINÂMICA DE EVOLUÇÃO DAS OCUPAÇÃOS DAS TERRAS NA ÁREA DE INFLUENCIA DIRETA (AID) DA OBRA. 63

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - DISTRIBUIÇÃO E TIPIFICAÇÃO DAS OBRAS DO PROGRAMA DE ACELERAÇÃO DO CRESCIMENTO. 3
FIGURA 2 - ORGANOGRAMA DO PROJETO PAC 10. 17
FIGURA 3 - HIERARQUIA DOS DIRETÓRIOS. 19
FIGURA 4 - ESTRUTURA DO BANCO DE METADADOS DO PAC. 20
FIGURA 5 - EXEMPLO DA INTERFACE *WEBMAPPING*. 20
FIGURA 6 - INTERFACE DO BANCO DE DADOS E SEU MENU PRINCIPAL. 21
FIGURA 7 - ÁREA DE CADASTRO DOS SATÉLITES. 22
FIGURA 8 - HIERARQUIA DAS OBRAS INFRAESTRUTURA, SEGUNDO CLASSIFICAÇÃO DA CASA CIVIL DA PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. 23

FIGURA 9 - EXEMPLO DE CADASTRO DE SUBTIPO DE OBRA DE INFRAESTRUTURA LOGÍSTICA. 24
FIGURA 10 - EXEMPLO DE CADASTRO DE SUBTIPO DE OBRA DE INFRAESTRUTURA ENERGÉTICA. 24
FIGURA 11 - CADASTRO DOS DADOS DAS IMAGENS. 26
FIGURA 12 - IMAGENS DA OBRA 27
FIGURA 13 - PONTOS DA OBRA 27
FIGURA 14 - CADASTRO DOS DADOS DAS IMAGENS. 28
FIGURA 15 - ABA DA INTERFACE DE CADASTRO DOS DADOS DAS IMAGENS. 29
FIGURA 16 - DIAGRAMA ENTIDADE RELACIONAMENTO REPRESENTANDO A ESTRUTURA DE BANCO DE DADOS CRIADA PARA ARMAZENAR OS DADOS DAS OBRAS E IMAGENS ORBITAIS. 30
FIGURA 17 - BARRA DE FERRAMENTAS DA INTERFACE 31
FIGURA 18 - ÍCONE PARA DIRECIONAR AS IMAGENS. 31
FIGURA 19 - EXEMPLO DE CAMADAS 32
FIGURA 20 - EXEMPLO DE *POPUPS*. 32
FIGURA 21 - MODELO DE *POPUPS* COM *ZOOM IN.* 33
FIGURA 22- EXEMPLO DE JANELA “FAVORITOS”. 34
FIGURA 23 - EXEMPLO DE ADICIONAR FAVORITOS. 34
FIGURA 24 - BARRA DE FERRAMENTAS DE MEDIDAS. 35
FIGURA 25 - DESCRIÇÃO DO PROJETO PAC 10. 35
FIGURA 26 - *HELP* DA INTERFACE 36
FIGURA 27 - ABAS DE ATALHO 36
FIGURA 28 - EXEMPLO DO DIRETÓRIO DE IMAGENS 37
FIGURA 29 - EXEMPLO DO DIRETÓRIO DO *ARCGIS SERVER* 37
FIGURA 30 - IMAGEM IKONOS-2, REFERENTE À USINA HIDROELÉTRICA, COM ***AIO*** DEFINIDA E RECORTADA. 41
FIGURA 31 - INFORMAÇÕES ESTATÍSTICAS E DE PROJEÇÃO DA IMAGEM DO SENSOR IKONOS-2 (FUNDO), PADRONIZADA DE ACORDO COM OS PROCEDIMENTOS PROPOSTOS. 42
FIGURA 32 - IMAGEM IKONOS-2, COM RECORTE DA AOI. IMAGEM PADRONIZADA (A) E IMAGEM DE REFERENCIA, FUSÃO MSPAN (B), AMBAS COM COMPOSIÇÃO RGB, 1,2 E 3. 43
FIGURA 33 - DETALHE DAS IMAGENS “LINKADAS”, REFERENTE À IMAGEM IKONOS-2. IMAGEM PADRONIZADA (A) E ORIGINAL (B). COMPOSIÇÃO RGB, 1, 2 3. 43
FIGURA 34 - CAIXA DE EDITOR DE ASSINATURA (SIGNATURE EDITOR) ABERTO, MOSTRANDO ALGUMAS AMOSTRAS COLETADAS NA IMAGEM (SOLO EXPOSTO), COM “REGIÃO DE CRESCIMENTO” SELECIONADA. 45
FIGURA 35 - CAIXA *SIGNATURE EDITOR*, COM VARIAS AMOSTRAS DE ASSINATURA EDITADA E AGRUPADAS. 46

FIGURA 36 - PARTE DA TABELA DE MATRIZ DE SEPARABILIDADE DAS ASSINATURAS, GERADA A PARTIR DAS DISTÂNCIAS CALCULADAS PELO MÉTODO DA DIVERGÊNCIA TRANSFORMADA. 48
FIGURA 37 - IMAGEM CLASSIFICADA APÓS APLICAÇÃO DO FILTRO ***MAJORITY*** DEFINIDO COM JANELA DE TAMANHO 3 X 3 *PIXELS*. 50
FIGURA 38 - MAPA DE USO E COBERTURA, CLASSIFICADO A PARTIR DA IMAGEM IKONOS-2, REFERENTE À UMA USINA HIDROELÉTRICA, DATADA DE 08 DE JANEIRO DE 2009. 52
FIGURA 39 - MODELO DA INTERFACE. 54
FIGURA 40 - IMAGEM QUICKBIRD DE 30 DE OUTUBRO DE 2005..... 60
FIGURA 41 - CLASSIFICAÇÃO E COBERTURA DAS TERRAS DA IMAGEM QUICKBIRD DE 30 DE OUTUBRO DE 2005. 61
FIGURA 42 - IMAGEM QUICKBIRD DE 30 DE SETEMBRO DE 2010. 62
FIGURA 43 - CLASSIFICAÇÃO E COBERTURA DAS TERRAS DA IMAGEM QUICKBIRD DE 30 DE SETEMBRO DE 2010. 63
FIGURA 44 - GRÁFICO COM A DINÂMICA DE EVOLUÇÃO DAS OCUPAÇÃOS DAS TERRAS NA ÁREA DE INFLUENCIA DIRETA (AID) DA OBRA. 64

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AID - ÁREA DE INFLUENCIA DIRETA

AOI - AREA OF INTEREST

BD - BANCO DE DADOS

CGPAC - COMITE GESTOR DO PAC

CONCAR - COMISSÃO NACIONAL DE CARTOGRAFIA

DETER - DETECÇÃO DE DESMATAMENTO EM TEMPO REAL

EMBRAPA/CNPM - EMBRAPA MONITORAMENTO POR SATÉLITE

GEPAC - GRUPO EXECUTIVO DO PAC

GIS - GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM

GSI - GABINETE DE SEGURANÇA INSTITUCIONAL

GTE - GESTÃO TERRITORIAL ESTRATÉGICA

GTI - GESTÃO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO

INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION

JRC - JOINT RESEARCH CENTRE

JSF - JAVA SERVER FACES

MAXVER - MÁXIMA VEROSSIMILHANÇA

MP - MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO

MS - MULTIESPECTRAL

MVC - MODEL-VIEW-CONTROLLER

OEPA - ORGANIZAÇÕES ESTADUAIS DE PESQUISA AGROPECUÁRIA

OGC - OPEN GEOSPATIAL CONSORTIUM

OLAP - PROCESSO ANALÍTICO EM TEMPO REAL

PAC - PROGRAMA DE ACELERAÇÃO DO CRESCIMENTO

PAN - PANCROMÁTICA

PRODES - PROJETO DE MONITORAMENTO DA FLORESTA AMAZÔNICA BRASILEIRA POR SATÉLITE

RIA - RICH INTERNET APPLICATIONS

SGDB - SISTEMA GERENCIADOR DE BANCO DE DADOS

SPI - SECRETARIA DE PLANEJAMENTO E INVESTIMENTOS ESTRATÉGICOS

TCU - TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO

UHE - USINA HIDRELÉTRICA

URL - UNIFORM RESOURCE LOCATOR

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 1

1.1 Objetivo Proposto 4

2. REVISÃO DE LITERATURA 4

2.1 Organização e Visualização de Grande Quantidade de Imagens Orbitais ... 7

2.2 Cadastro e Gestão de Metadados de Obras de Infraestrutura e Imagens de Satélite 9

2.3 Desenvolvimento de *webmapping* em Tecnologia *Flex* Para Análises de Imagens e Monitoramento de Obras de Infraestrutura 10

2.4 Extração de Informações a partir da Aplicação do Algoritmo da Máxima Verossimilhança (MAXVER) em Imagens de Satélite de Alta Resolução .. 11

3. MATERIAIS E MÉTODOS 13

3.1 Projeto Monitoramento de Obras do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) 15

3.2 Proposta de Organização e Visualização de Grande Quantidade de Imagens Orbitais Através de *web* Services 18

3.3 Ferramenta Para Cadastro e Gestão de Metadados de Obras de Infraestrutura e Imagens de Satélite do Projeto PAC 10 21

3.3.1 Inserção das obras no banco de dados 26

3.3.2 Inserção das imagens no banco de dados 28

3.3.3 O Modelo Entidade - Relacionamento do banco de dados 29

3.4 *webmapping* Desenvolvido em Tecnologia *Flex* Para Análises de Imagens e Monitoramento de Obras de Infraestrutura 30

3.4.1 Descrição da interface *web* 31

3.5 Método de Extração de Informações Para Monitoramento Espaço-temporal de Grandes Obras de Infraestrutura a partir da Aplicação do Algoritmo da Máxima Verossimilhança em Imagens de Satélite de Alta Resolução 38

3.5.1 Preparação das imagens 41

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO 53

4.1 Visualização de Grande Quantidade de Imagens Orbitais Através de um *webmapping e* Cadastro e Gestão de Metadados de Obras de Infraestrutura e Imagens de Satélite do Projeto PAC 10 53
4.2 Método de Extração de Informações Para Monitoramento Espaço-temporal de Grandes Obras de Infraestrutura a partir da Aplicação do Algoritmo da Máxima Verossimilhança em Imagens de Satélite..... 56

5. CONCLUSÕES..... 65

6. REFERÊNCIAS 68

1. INTRODUÇÃO

O Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), lançado em janeiro de 2007, é um programa estratégico do Governo Federal que previu investimentos de R$ 503,9 bilhões, em quatro anos, na recuperação e implantação de novas obras para infraestrutura, além de medidas para aumentar o ritmo de crescimento econômico do país. São mais de doze mil obras, de diversas naturezas e valores, com cronogramas de implantação diferentes, nas mais diversas localizações geográficas e de condições de implantação. Em virtude da grandiosidade de valores, obras e consequentemente importância ao país o Presidente da República solicitou um monitoramento atualizado e circunstanciado do andamento e da execução das obras e de sua dinâmica (BRASIL, 2011).

O PAC é coordenado pelo Comitê Gestor do PAC (CGPAC), composto pelos ministros da Casa Civil, da Fazenda e do Planejamento. Há também o Grupo Executivo do PAC (GEPAC), integrado pela Subchefia de Articulação e Monitoramento (Casa Civil), Secretaria de Orçamento Federal e Secretaria de Planejamento e Investimentos Estratégicos (Planejamento), além da Secretaria Nacional do Tesouro (Fazenda), (PORTAL BRASIL, 2011)

Em 2008, ao completar 35 anos, a Embrapa conquistou, junto ao Governo Federal, o PAC Embrapa. O PAC Embrapa foi composto por 10 projetos. Os oito primeiros projetos estão sendo desenvolvidos no âmbito da Embrapa. O nono projeto diz respeito à revitalização das Organizações Estaduais de Pesquisa Agropecuária (OEPAs) e o décimo refere-se ao monitoramento por satélite das obras do PAC em todo o país. O projeto 10 de responsabilidade da Embrapa Monitoramento por Satélite (Embrapa/CNPM) objetivou o desenvolvimento tecnológico de um sistema multisatelitário e geocodificado de monitoramento por satélite das obras do PAC. Esse monitoramento dá ênfase ao acompanhamento da execução das obras, auxiliando o Governo Federal, com o levantamento de informações sobre o andamento das mesmas. Para tanto, a Embrapa/CNPM foi responsável pela estruturação, desenvolvimento, instalação e operação do sistema de monitoramento das obras do PAC e de pesquisas sobre a dinâmica das obras de forma a atender às demandas específicas do Presidente da República (PR), da

Casa Civil (Comitê Gestor do PAC) e do Gabinete de Segurança Institucional (GSI) da PR (EMBRAPA, 2011).

A Embrapa/CNPM constituiu uma área específica denominada Gestão Territorial Estratégica (GTE), fisicamente operacional com pessoal e equipamentos. Inicialmente esta área estava dedicada exclusivamente ao atendimento desse projeto de forma a garantir um fornecimento regular de interpretações e de relatórios sucintos sobre aquisição de imagens e o andamento das obras.

Neste sentido, a Embrapa Monitoramento por Satélite forneceu apoio metodológico, técnico-científico e operacional ao desenvolvimento e melhoria dos sistemas e áreas de acompanhamento do PAC já existentes nas instituições parceiras da Presidência da República.

Com base nas informações obtidas no sistema de monitoramento, o projeto buscou também o desenvolvimento e a validação de métodos e técnicas para avaliar os impactos territoriais causados por essas obras, através de uma avaliação temporal da dinâmica das obras. Nesta monografia são demonstrados diversos processos e etapas do desenvolvimento deste sistema de monitoramento. As etapas envolvidas foram:

- organizar mais de 78.000km^2 de imagens de satélite composta por mais de 1400 cenas;
- desenvolver e gerenciar um banco de dados com os metadados de mais de 200 obras monitoradas com imagens orbitais;
- desenvolver uma interface que possibilite a interpretação de imagens e conseqüente monitoramento de obras de infraestrutura, passíveis de observação do espaço; e
- desenvolver um método de extração de informações de imagens de alta resolução para monitoramento espaço-temporal de grandes obras de infraestrutura.

O sistema de monitoramento via satélite das obras do PAC foi instalado na Presidência da República, no Gabinete Civil, no Gabinete de Segurança Institucional da Presidência da República, no Tribunal de Contas da União (TCU), e no Ministério do Planejamento.

Foi constatado pelo governo, e por duas empresas líderes no mercado de imageamento via satélite, que este projeto é pioneiro. Não existem projetos com as mesmas características de monitorar grandes obras e em dimensões territoriais semelhantes as do Brasil gerando um enorme volume de imagens e conseqüentemente dados e informações. Isto tornou um desafio para a equipe da área de GTE.

A distribuição e tipificação das obras envolvidas no PAC em todo o território nacional são visualizadas na Figura 1. Foram selecionadas, pela Casa Civil, mais de 360 áreas de interesse que totalizam 430 trechos de obras do PAC. Estas áreas não representam o total de obras do programa. Uma obra pode ter mais de um trecho de monitoramento como é o caso de metrôs e rodovias.

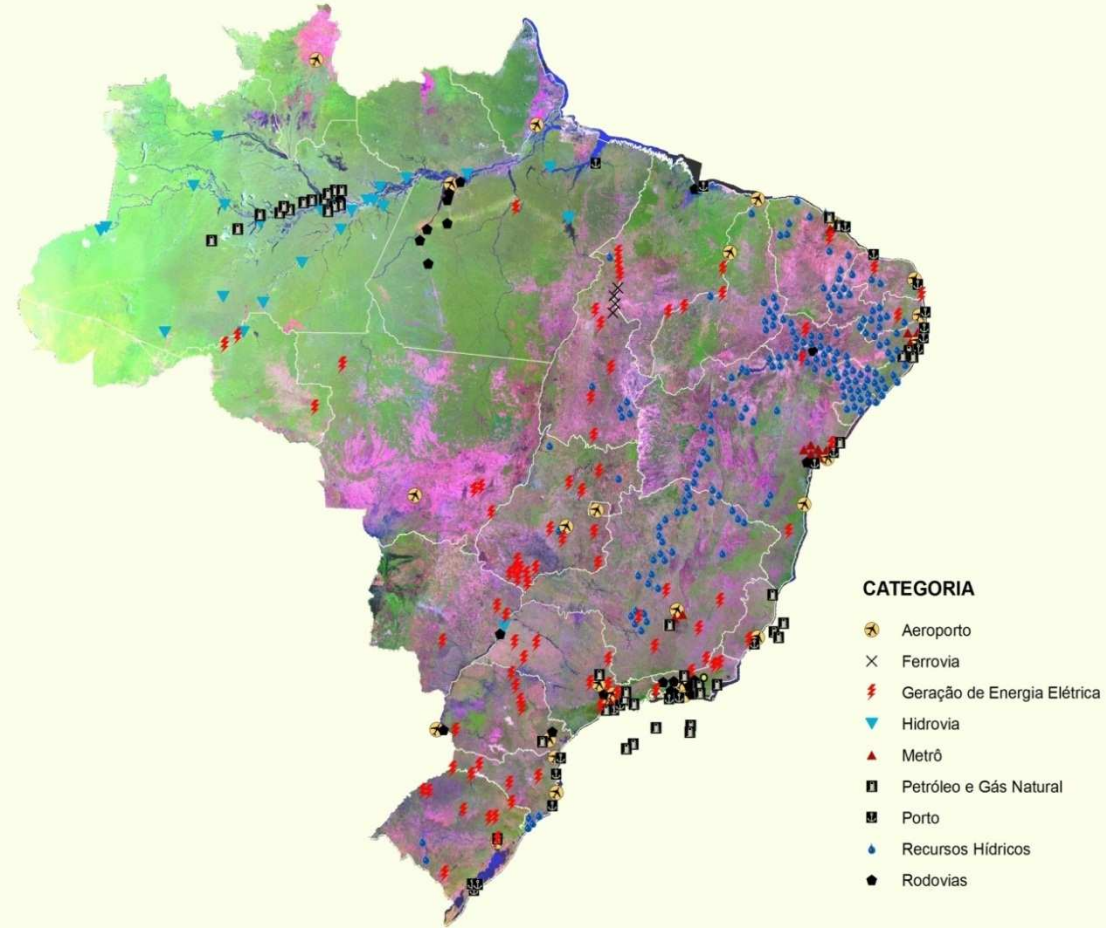


FIGURA 1 - DISTRIBUIÇÃO E TIPIFICAÇÃO DAS OBRAS DO PROGRAMA DE ACELERAÇÃO DO CRESCIMENTO.

1.1 Objetivo Proposto

O objetivo do projeto 10 foi gerar dados e informações, sobre obras do PAC e sua dinâmica, a partir de um sistema multisatelitário para Presidência da República e Ministério do Planejamento. Para alcançar este objetivo foram definidas 6 etapas, onde cada uma refere-se a um tipo de procedimento adotado. As etapas e seus respectivos procedimentos são apresentados na Tabela 1.

As etapas de 1 a 5 passaram por um processo de validação e aprovação devido a grande quantidade de imagens adquiridas. Na etapa 6 a imagem aprovada é comparada com outras imagens da mesma obra.

TABELA 1 - ETAPAS DE REQUISIÇÃO E CONTROLE DAS IMAGENS ORBITAIS.

Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4	Etapa 5	Etapa 6
Cadastro de localização das obras e aprovação da Casa Civil, PR	Solicitação e recebimento das amostras de imagens das obras	Triagem e cadastro das amostras de imagens pré-aprovadas	Solicitação, recebimento, cadastro, e armazenamento das imagens originais	Análise (nuvens e deslocamento) e cadastro final das imagens originais	Comparação de imagens, cálculo de áreas, e sobreposição das cenas

Entre as etapas 5 e 6 alguns desafios foram selecionados no decorrer do projeto, como:

- organizar e visualizar grande quantidade de imagens orbitais através de *web services*;
- cadastrar e gerir metadados das obras de infraestrutura e imagens de satélite;
- análisar imagens e monitorar obras de infraestrutura através de um *webmapping*;
- definir um processo para extrair informações para monitoramento espaço-temporal de grandes obras de infra-estrutura em imagens de satélite de alta resolução.

Estes desafios foram superados e suas soluções são descritas nos itens 3 e 4.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Imagens como Spot 4 e 5 e Landsat 5 e 7, com resoluções espaciais de 20 e 30 metros respectivamente, são adequadas para detectar grandes feições como: estradas maiores (principais e secundárias) e pátios de estocagem (MONTEIRO et

al., 2003; SOUZA JÚNIOR et al., 2003). Observa-se que a medida que a resolução espacial torna-se mais fina, tem-se um ganho de informação nas imagens de satélite. Imagens Ikonos-2, com resolução espacial de 1 a 4 metros, possuem o potencial para detectar além de estradas maiores e pátios, feições menores: estradas menores (ramais de arraste), clareiras simples e múltiplas (READ *et al.*, 2003; SOUZA JÚNIOR; ROBERTS, 2005). Atualmente existem satélites (Geoeye-1 e Worldview-2) com resolução espacial de 0,5 metro capazes de detectar sombras de pessoas.

O monitoramento via satélite vem sendo muito utilizado em escala global, especialmente quando se trata da área ambiental. O *Joint Research Centre* (*JRC*) da Comissão Europeia, desenvolveu uma metodologia para monitorar a cobertura florestal entre os trópicos na América Latina, Sudeste Asiático e África, com base em mais de 4000 unidades de amostra com uma dimensão de 20 km por 20 km localizados em todas as latitudes de confluência com longitude em grau completo. Metodologia esta, que adotou imagens *Landsat Thematic Mapper* (*TM*) e *Enhanced Thematic Mapper* (*ETM*) com poucas nuvens das períodos em torno dos anos 1990, 2000 e 2005. Estas imagens foram selecionadas, pré-processadas, segmentadas e classificadas em cinco diferentes classes de cobertura da terra para a construção de estatísticas globais e regionais sobre a mudança da cobertura florestal tropical (BEUCHLE et al., 2011).

No Brasil existem diversos projetos de monitoramento via satélite. A Embrapa/CNPM monitora a faixa de fronteira para pecuária com o Sistema de Informação Territorial da Faixa de Fronteira para Defesa Agropecuária (SIT-Aftosa). O sistema tem por finalidade apoiar o planejamento e monitoramento de ações de controle e combate às enfermidades bovinas e, especificamente, fornecer informações para a elaboração de medidas preventivas contra a febre aftosa.

O SITAftosa disponibiliza informações espaciais detalhadas de toda a faixa de fronteira entre Brasil (estados do Acre, Rondônia, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul), Paraguai, Bolívia e Peru (FLOSI et al., 2010). O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) através do PRODES (Projeto de Estimativa do Desflorestamento Bruto da Amazônia) vem realizando o monitoramento do desflorestamento desde 1974, utilizando técnicas de interpretação visual de imagens de satélite LANDSAT

TM/ETM+. O método permite identificar alterações na cobertura florestal a partir de 6,25 hectares, utilizando imagens na escala 1:250.000, além de fornecer estimativas da extensão e taxa média do desflorestamento bruto. Desde 2003, o INPE vem aplicando um método automático (PRODES DIGITAL), que substituiu o método manual, na identificação e estimativa de áreas desflorestadas na Amazônia. Esta técnica prevê o uso de modelo linear de mistura espectral, de segmentação de imagens por crescimento de regiões e de classificação não supervisionada por regiões (INPE, 2011). O INPE em parceria com o IBAMA/Proarco desde 1998 vem monitorando as queimadas na Amazônia. O método consiste na detecção de focos de calor através de imagens do satélite NOAA (quatro vezes ao dia). Desde setembro de 2002 as queimadas passaram a ser detectadas também pelos satélites GOES-8 (oito vezes ao dia) e AQUA/TERRA (quatro vezes ao dia com imagens MODIS), totalizando 16 detecções por dia (PROARCO, 2008).

A PETROBRAS tem utilizado verificações de campo realizadas com helicópteros e informações meteo-oceanográficas, derivadas de sensores operando em diferentes faixas do espectro eletromagnético para auxiliar a interpretação das imagens de radar (BENTZ *et al.*, 2005). Sensores que operam no visível mostram variações da cor do oceano, oferecendo informações sobre a carga de sedimento em suspensão e fenômenos biogênicos associados à produção de clorofila ou florescimentos de algas. Radiômetros operando no infravermelho termal podem indicar a localização de frentes oceânicas, meandros e plumas de ressurgência (BENTZ *et al.*, 2005).

Todos os projetos nacionais citados apresentavam dados de média ou baixa resolução espacial ou eram direcionados a regiões específicas do território brasileiro.

Neste sentido o maior desafio ao realizar a busca por projetos análogos ao proposto foi a constatação de que não existem projetos de referência, com objetivo de monitorar uma área com as dimensões de um país continental, como é o Brasil, com obras gigantescas e uma mobilidade de técnicos e infraestrutura logística para lugares afastados dos grandes centros urbanos. Tornando o projeto, um desafio para a equipe da área de Gestão Territorial Estratégica (GTE).

2.1 Organização e Visualização de Grande Quantidade de Imagens Orbitais

O uso de imagens de satélite tem se tornado mais interativo devido às tecnologias *GIS* (*Geographic Information System)* que se relacionam com as tecnologias da *WEB* e, para que a visualização de dados cartográficos seja adequada, é necessário organizá-las de forma padronizada.

Conforme escrito por Ferreira e Arcanjo (2007), o sistema de aquisição, processamento, catalogação e distribuição de imagens de sensoriamento remoto de vários institutos e empresas têm possibilitado à comunidade de usuários dessa tecnologia a ampla divulgação e utilização em seus projetos.

Percebe-se que há uma enorme quantidade de imagens disponíveis com uso cada vez mais freqüente. Desta forma, a organização de arquivos de imagens em diversos projetos é essencial para facilitar a busca de informações sobre estas em um banco de dados. Para isto, é necessária uma estrutura hierárquica recursiva que permita buscar qualquer imagem orbital de forma padronizada, regras de nomenclatura para as pastas e dados, além de critérios predeterminados para a criação dos diretórios fazem parte da harmonização desta estrutura.

Segundo Leme *apud* Prado (2009), existem padrões de metadados geográficos, que são um conjunto de normatizações que permitem a descrição textual do dado geográfico de forma previamente estabelecida. Os metadados são normalmente definidos como “informações que descrevem os dados” e surgiram com o desenvolvimento dos mapas digitais e pela manipulação da informação geográfica através dos GIS’s.

Em mapas impressos os metadados eram anexados diretamente no material impresso, (PRADO, 2007). O *webmapping* é a conseqüência natural do avanço do GIS, o qual é capaz de organizar e sistematizar um elevado número de informações georreferenciadas através de uma interface *web*.

Para acessar um *webmapping* é necessário ter acesso a Internet ou a uma rede local, já que, as informações ficam centralizadas em um servidor de dados. *Webmapping*, de acordo com Cabral e Alves (2004) citados por Silva e Regis Filho

(2009) é um recurso computacional que permite disponibilizar mapas na *internet* a partir da requisição feita pelo usuário por meio de um navegador *web*.

Deve-se ressaltar que um sistema de *webmapping* permite a visualização de mapas sem a necessidade de um programa específico na máquina cliente. Possuem algumas funções de interação, como aproximação (*zoom*), ligar e desligar planos de informação (*layers*), medir distâncias e áreas. De forma geral os *webmappings* devem ser preparados para atender às necessidades de relacionamento entre o usuário e o produto. Nestes, os metadados podem ser disponibilizados informando os usuários de seus dados usuais e como foram gerados os dados e informações disponíveis.

Existem várias propostas de padrões de metadados geográficos. De acordo com Weber *apud* Prado (1999), as principais são: o padrão canadense *Spatial Archive and Interchange Format* (SAIF); o padrão australiano proposto pelo *Australia and New Zealand Land Information Council* (ANZLIC); o padrão americano do *United States Federal Geographic Data Committee* (FGDC) e o padrão internacional da *International Organization for Standardization* (ISO). As estruturas amplamente adotadas são as definidas pelo FGDC e pela ISO. No Brasil, o órgão regulador de metadados geográficos é a Comissão Nacional de Cartografia (CONCAR), que no momento presente assiste ao estabelecimento da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE), CONCAR (2009).

Os padrões de metadados permitem inúmeras aplicações que utilizam soluções e tecnologias interoperáveis, que são tecnologias de sistemas com capacidade de se comunicar com outros sistemas e que descrevem uma lista de regras que foram pensadas em consenso, como o ISO e *Open Geospatial Consortium* (OGC).

A não interoperabilidade impede o compartilhamento de informações e de recursos computacionais, fazendo com que as organizações gastem muito mais tempo que o necessário no desenvolvimento de tecnologias geoespaciais. O *web map service* é um exemplo de interoperabilidade. Segundo a OGC (2010), os *webmappings* são interfaces que disponibilizam mapas interativos na *internet*. O *webmapservice* fornece uma interface HTTP simples para solicitar metadados geográficos de um ou mais bancos de dados. A resposta ao pedido de uma ou mais

imagens do banco de dados (em formatos como JPEG, PNG, etc) podem ser exibidos em um aplicativo de um navegador.

O *webmapping* serve como uma ferramenta facilitadora, que auxilia a visualização de imagens de satélites, respondendo as necessidades de seus usuários, através de um acesso remoto e restrito pela *internet*.

As possibilidades de interação com o usuário/cliente de um projeto são diversas e evoluem com o desenvolvimento de novas tecnologias e ferramentas. Neste sentido, com intuito de aperfeiçoar e tornar a interpretação de imagens de satélite mais segura e atraente ao usuário leigo, optou-se por utilizar a tecnologia *ESRI* com a plataforma *ArcGis Server* para a geração de *web services* e no desenvolvimento da interface foi utilizada a linguagem *Flex*.

O modelo de organização proposto e discutido neste trabalho possibilitou o acompanhamento das obras fazendo uso de imagens orbitais, permitindo a atualização das imagens para uma determinada região sem comprometer o padrão de organização, facilitando a incorporação de novas imagens de satélite.

2.2 Cadastro e Gestão de Metadados de Obras de Infraestrutura e Imagens de Satélite

Devido à variedade de obras, são muitas as informações necessárias para o seu acompanhamento. Para facilitar a manipulação e melhorar a integração de dados, no contexto do monitoramento de obras de infraestrutura por imagens de satélites, as informações geográficas e textuais foram integradas através da definição de um banco de dados digital, e do desenvolvimento de uma ferramenta que possibilite o cadastro e a gestão das informações contidas nesta base de dados.

A ferramenta é um sistema de informação que roda dentro de um navegador *web*, possibilitando ser utilizada através da *internet* por múltiplos usuários simultâneos. Foi desenvolvida na linguagem Java, usando a tecnologia *JSF* (*Java Server Faces*). O banco de dados digital foi estruturado e hospedado no Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGDB) *Microsoft SQL Server* 2008. Esta plataforma foi escolhida devido à fácil integração dos metadados armazenados e as

ferramentas oferecidas pelo programa *ArcGis Server*, que se utiliza da mesma plataforma do *SQL Server* 2008.

A ferramenta foi projetada para ser adaptável a outros projetos de pesquisa da Embrapa Monitoramento por Satélite, bem como das instituições parceiras do Projeto PAC 10.

A interface desenvolvida vem sendo aplicada no projeto PAC 10 e pode ser utilizada em situações nas quais o monitoramento, por meio do uso de imagens de satélite, é necessário e viável. Essa interface, hoje operacional na GTE, permite uma atualização das imagens orbitais para uma determinada região sem comprometer o padrão de organização, facilitando, assim, a incorporação de novas imagens, mantendo o banco de dados atualizado.

2.3 Desenvolvimento de *webmapping* em Tecnologia *Flex* Para Análises de Imagens e Monitoramento de Obras de Infraestrutura

Buscando o aprimoramento das interpretações de imagens, maior segurança e continua disponibilização de imagens de satélite para monitoramento orbital das obras do PAC do Governo Federal, uma nova interface *webmapping* foi desenvolvida pelas áreas de GTE e de Gestão da Tecnologia da Informação (GTI) da Embrapa/CNPM, utilizando a linguagem *Flex*. *Flex* é uma linguagem de programação baseada em *Flash* para criação de aplicações do tipo *RIA*. Aplicações de Internet Rica (da sigla em inglês *RIA - Rich Internet Application*) são aplicações *web* que tem características e funcionalidades de programas tradicionais do tipo aplicativo. Através da linguagem *Flex* é possível criar interfaces *web* mais intuitivas e envolventes, que permitem que os clientes, parceiros e funcionários gerenciem e interpretem dados de forma mais eficiente.

A publicação dos mapas através do *ArcGis Server* e sua organização no banco de dados, tem como produto final um *webmapping* capaz de fornecer diversas ferramentas que possibilitam uma interação facilitada com o usuário final.

Para o *webmapping* foi desenvolvido uma interface-protótipo para atender as necessidades da Casa Civil da Presidência da República e do Ministério do

Planejamento, Orçamento e Gestão, de modo a fornecer imagens de satélites que retratam o andamento das obras do PAC. Criou-se uma interface simples e funcional apenas para servir como um instrumento de visualização. Alguns comandos são análogos aos adotados na maioria dos programas de visualização, tornando o manuseio da interface de fácil acesso. Desta forma a interface fornece uma solução apropriada para o acompanhamento da dinâmica das obras.

2.4 Extração de Informações a partir da Aplicação do Algoritmo da Máxima Verossimilhança (MAXVER) em Imagens de Satélite de Alta Resolução

Um dos processos mais utilizados para extração de informação de imagens de satélite é a classificação de uso e cobertura das terras baseada em técnicas de tratamento de imagens digitais. Nesse processo, os *pixels* de uma imagem são agrupados em classes de uso e cobertura das terras, associadas a feições conhecidas.

Geralmente, projetos desenvolvidos com essas técnicas, cobrem áreas extensas e ou de difícil acesso, o que requer procedimentos cada vez mais automatizados para a interpretação da paisagem.

Nessas circunstâncias, “o aumento da resolução espacial, radiométrica e espectral das imagens geradas pelos sensores atuais, permitem ao analista identificar e mapear pequenos objetos na superfície terrestre” (SUGUMARAN; ZERR, 2001) auxiliando na identificação das feições do terreno, sem necessidade de prospecções a campo, ou pelo menos com diminuição significativa das mesmas e admissão de erro minimizada.

Para Mendonça (2006, p. 4),

> a alta resolução espacial alcançada por esses novos sensores altera o modo como as imagens geradas são utilizadas no processo de classificação. Se anteriormente um *pixel* continha vários objetos, agora um objeto é composto por vários *pixel*s, aumentando a percepção de detalhamento da cena.

Apesar dos sensores de alta resolução espacial possuírem inúmeras vantagens, existem algumas questões importantes que merecem destaque. Um exemplo seria o aumento de possíveis problemas com sombras na superfície imageada. Segundo Ribeiro (2003), dependendo do ângulo de elevação solar, as sombras produzidas são mais proeminentes em imagens de alta resolução se comparadas às obtidas pelos sensores de menor resolução espacial. Essas sombras são difíceis de serem identificadas e classificadas e constituem fontes de erros em interpretação de imagens.

Para Fisher e Goetz (2001) “objetos tridimensionais interceptam a luz diferentemente e aparecem com iluminação e refletância espectral não-uniformes”. Isso provoca um aumento na variação espectral em algumas feições e gera dificuldades na classificação (SUGUMARAN; ZERR, 2001).

Métodos de classificação baseados em *pixels* foram amplamente utilizados em procedimentos de classificação em imagens de média e baixa resolução e têm sido utilizados ainda em imagens de alta resolução. A tarefa de classificação de imagens de alta resolução pode ser considerada difícil, tendo em vista a elevada complexidade e composição dos tipos de cobertura do solo que podem ser discriminados nesse tipo de imagem, como demonstrou Masuoka *et al.* (2003).

Os métodos ou procedimentos de classificação digital de imagens são divididos em supervisionada e não-supervisionada. A classificação não supervisionada é um método computacional automático de agrupamento, com base nos valores presentes na imagem. Genericamente, cada *pixel* da imagem é associado a uma classe sem conhecimento prévio do número ou da identificação das diferentes classes presentes na área imageada (FONSECA, 2000). Enquanto que, a classificação supervisionada necessita de conhecimento prévio da área para definir um conjunto de amostras de treinamento do algoritmo representativo para cada classe de cobertura presente na imagem. Desta forma, o sistema reconhece os diferentes intervalos do comprimento de onda e define os limites de cada classe (NOVO, 1992; RICHARDS, 1986).

Dentre os métodos de classificação citados, existem peculiaridades, com associação da informação espectral feita *pixel*-a-*pixel* ou por região. No caso da associação *pixel*-a-*pixel***,** o algoritmo classificador utiliza a informação dos valores

espectrais associados de cada *pixel* para achar regiões homogêneas. Traça assim a probabilidade de um determinado *pixel* analisado pertencer ou não a uma determinada classe. Já na associação por região, considera-se a variabilidade espacial e a textura natural. No processo de decisão, analisa um agrupamento de *pixels* como unidade de classificação, procurando reconhecer áreas homogêneas baseados nas propriedades espectrais e espaciais dessas áreas na imagem (MOREIRA, 2001). Como as imagens de alta resolução permitem identificar feições de uso, minimizando a necessidade de prospecções de campo, a classificação supervisionada se mostra como mais adequada.

Nesta etapa o objetivo foi aplicar algoritmo da máxima verossimilhança em imagens de satélite de alta resolução espacial para monitoramento de grandes obras de engenharia em infraestrutura do PAC, inseridas em meio rural ou urbano, a fim de analisar sua dinâmica de desenvolvimento em relação a situações precedentes, assim como possíveis intervenções no espaço territorial da área de influência direta e do entorno das obras.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A necessidade de comparar imagens de satélite e, diferentes datas foi o incentivo para a elaboração de um *webmapping*. A comparação de imagens de satélite de cada obra por um usuário leigo torna-se complexa em relação ao tamanho dos arquivos que podem chegar a mais de 4Gb e a sobreposição dessas imagens em programas proprietários ou livres não é uma tarefa cotidiana aos responsáveis pela gestão do dinheiro público investido nas obras.

Para trabalhar com imagens de satélite que ocupam muito espaço em disco rígido e possuem muitas informações por possuírem resolução espacial muito alta (1 metro ou melhor) e resolução radiométrica de até 16 bits foram necessários equipamentos que pudessem comportar processamentos com estas imagens.

Os equipamentos utilizados neste projeto eram os disponíveis na Embrapa/CNPM. A infraestrutura computacional estava baseada em:

- HP *StorageWorks* EVA4400: servidor dos dados raster com capacidade de armazenamento de até 96Tb;
- Computadores de mesa com a configuração:
  - Processador *intel core 2 quad* 3.0GHz;
  - Disco rígido de 1Tb;
  - Placa de vídeo com 1Gb;
- Programas:
  - *ArcInfo* 9.3: para edição de vetores e dados raster;
  - *ArcGis Server* 9.3: para a inclusão de *web services*;
  - *ArcGIS API* para *Flex* versão 2: para o desenvolvimento da interface *webmapping*;
  - *ERDAS Imagine* 10: para a classificação das imagens de satélite;
  - *SQL Server* 2008: utilizado como banco de dados;
  - *JavaServer Faces (JSF)*: tecnologia que incorpora características de um *framework Model-View-Controller* (MVC) para *web* e de um modelo de interfaces gráficas baseado em eventos.

O projeto contou com um corpo técnico altamente capacitado:

- 3 PhD/doutores: 1 em ecologia, 1 em agronomia e 1 em TI;
- 4 mestres: 1 em geodésia, 1 em geoestatística, 1 em sensoriamento remoto e 1 em GIS;
- 1 engenheiro cartógrafo;
- 2 analistas de TI;
- 5 estagiários do curso de geografia.

A seguir são descritos os procedimentos para a execução do sistema de monitoramento das obras do PAC.

3.1 Projeto Monitoramento de Obras do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC)

O objetivo do monitoramento via imagens de satélite foi garantir um fornecimento regular de interpretações e de relatórios sucintos sobre as imagens.

Com base nas informações obtidas no sistema de monitoramento, o projeto buscou também o desenvolvimento e a validação de métodos e técnicas para avaliar a dinâmica dessas obras, buscando espacializar esses fenômenos.

Em termos de tipologia, dos 430 pontos de obra, 138 foram classificadas como de infraestrutura energética, 109 de infraestrutura logística, e 183 de infraestrutura social e urbana (Tabela 2).

TABELA 2 - EIXO E TIPOLOGIA DOS PONTOS DE OBRAS DO PAC.

Tipologia dos pontos de obra	Eixo		
	Infraestrutura energética	Infraestrutura logística	Infraestrutura social e urbana
Aeroporto		27	
Ferrovia		5	
Geração de energia elétrica	85		
Hidrovia		27	
Metrô			14
Petróleo e gás natural	53		
Porto		22	
Recursos hídricos		6	169
Rodovias		22	
Total	**138**	**109**	**183**

Na Tabela 3 está relacionada a natureza dos pontos de obra monitorados por região do País com potencial de serem analisados.

TABELA 3 - TOTAL DE PONTOS DE OBRA MONITORADOS POR EIXO E REGIÃO.

Tipologia dos pontos de obra	Região					Total
	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sul	Sudeste	
Infraestrutura energética	33	19	24	20	42	138
Infraestrutura logística	44	27	4	13	21	109
Infraestrutura social e urbana	6	136	3	6	32	183
Total	**83**	**182**	**31**	**39**	**95**	**430**

A Tabela 4 mostra as especificações básicas dos sensores utilizados neste projeto.

TABELA 4 - ESPECIFICAÇÕES BÁSICAS DOS SENSORES UTILIZADOS NESTE PROJETO.

Satélite	Sensor	Resolução espacial (m)	Bandas Adquiridas	Resolução temporal (dias)	Resolução radiométrica (bits)	Área imageada (Km2)	Escala máxima aceitável
Worldview-2	MS - PAN	1,84 - 0,5	RGB+NIR - PAN	1,1	11	16,4	1:2500
Quickbird	MS - PAN	2,4 - 0,61	RGB+NIR - PAN	1- 3,5	11	16,5	1:3050
Eros-B	CCD/TDI	0,7	PAN	4	10	12,5	1:3500
Ikonos-2	MS - PAN	4 - 1	RGB+NIR - PAN	1,5 - 2,9	11	121	1:5000
CBERS-2B (China-Brazil Earth Resources Satellite)	CCD - HRC	20 - 2,7	RGB+NIR - PAN	26 - 130	8	120 - 27	1:100000
Resourcesat-1	LISS-III - (Linear Imaging Self-Scanner)	23,6	RG+NIR	25	7	142	1:118000
Landsat-5	TM (Thematic Mapper)	30	RGB+NIR	16	8	185	1:150000

Nos campos “Resolução espacial”, “Resolução temporal” e “Área imageada”, na tabela 3, aparecem mais de um valor para alguns sensores. Estes valores aparecem separados por um traço e são referentes às bandas multiespectrais (MS) e pancromáticas (PAN), respectivamente. O campo “Escala máxima aceitável” considera o valor de 0,0002m de acuidade visual e leva em consideração a resolução espacial dos sensores. A relação entre o valor da acuidade visual e a resolução espacial determina a escala máxima aceitável para visualizar e representar as imagens.

No projeto foi adquirida uma enorme quantidade de imagens gerando muitos dados e informações sobre as obras. O total de km^2 adquiridos para o monitoramento foi de 78.193 km^2, conforme Tabela 5.

TABELA 5 - QUANTIDADE DE IMAGENS EM KM2 ADQUIRIDAS POR SATÉLITE NO PERÍODO DE 2008 À FEVEREIRO DE 2011.

Satélite	Exercícios				
	2008	2009	2010	2011	Total
Eros_B	1.642	29.608	0	0	31.250
QuickBird-	2.168	7.832	6973	0	16.973
Ikonos	648	10546	7067	401	18.662
WorldView-2	0	0	11308	0	11.308
Total Geral	4.458	47.986	25.348	401	78.193

Com base nas informações obtidas no sistema de monitoramento, o projeto buscou também o desenvolvimento e a validação de métodos e técnicas para avaliar os impactos territoriais causados por essas obras, buscando uma avaliação temporal das obras. Neste projeto é demonstrado como são executados estes processos. Os macroprocessos estão representados na Figura 2 que mostra o organograma do projeto.

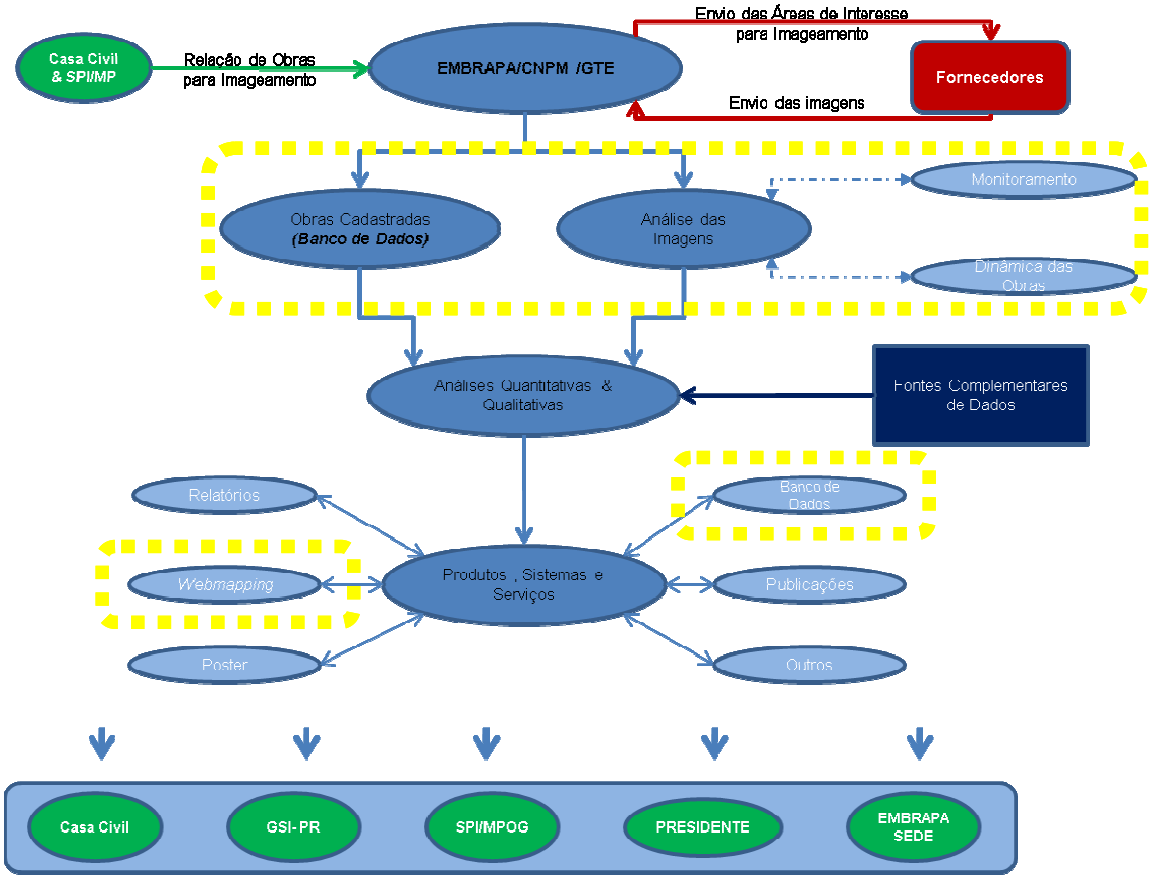


FIGURA 2 - ORGANOGRAMA DO PROJETO PAC 10.

Na Figura 2 estão representados os principais atores neste projeto e sua relação com a área GTE. As cores representam um ator em cada processo e sua interação com o projeto. No organograma estão representados pela cor:

- verde: clientes/usuários do sistema;
- vermelha: fornecedores de imagens. Os representantes das grandes empresas do setor de imageamento via satélite;
- azul: processos que foram executados na GTE;
- amarelo tracejado: o escopo desta monografia.

As etapas destacadas com o tracejado amarelo na Figura 2 são as descritas nesta monografia, como: organizar mais de 78.000 km^2 de imagens de satélite, desenvolver e gerenciar um banco de dados com os metadados das obras monitoradas, desenvolver uma interface que possibilite a interpretação de imagens (*webmapping*) e conseqüente monitoramento de obras de infraestrutura, passíveis de observação do espaço desenvolvendo um processo de extração de informações para o monitoramento espaço-temporal de grandes obras de infraestrutura.

3.2 Proposta de Organização e Visualização de Grande Quantidade de Imagens Orbitais Através de *web* Services

Nesta proposta de estrutura de organização física de imagens orbitais, foram criados diretórios para a organização dos arquivos de imagens de satélite. Os arquivos contidos nesses diretórios foram ordenados em subdiretórios, onde as imagens obtidas foram organizadas por meio de uma feição ou objeto de referência. Neste projeto utilizou-se a unidade de referência “obra”. Esta unidade de referência pode ser outra feição ou objeto como Áreas de Proteção Ambiental, Estradas, Postes, etc. A definição da unidade de referência depende do escopo do projeto. A adoção de um critério de nomenclatura é essencial para a organização de um banco de dados. A nomenclatura padronizada permite que a busca e a implementação de *web services* (serviços disponíveis na *web*, utilizados por sistemas de informação) baseados nas imagens orbitais, sejam facilitadas.

A organização dos arquivos de imagens pode ser definida como um sistema de organização hierárquica recursiva. Esse particionamento pode ser representado como uma estrutura “em árvore” que, a partir de uma raiz, divide-se em sistemas, os quais, por sua vez, subdividem-se em subsistemas, e assim sucessivamente. Desta forma, cada nível pode representar, por exemplo, um projeto e suas subdivisões, de acordo com o objeto/feição de referência, como demonstrado na Figura 3, a qual mostra dois projetos: o projeto de monitoramento das obras do PAC e o projeto de Infraestrutura crítica de agroenergia. Isso mostra que o mesmo princípio de organização adotado para o projeto PAC 10 pode ser adotado por outros projetos.

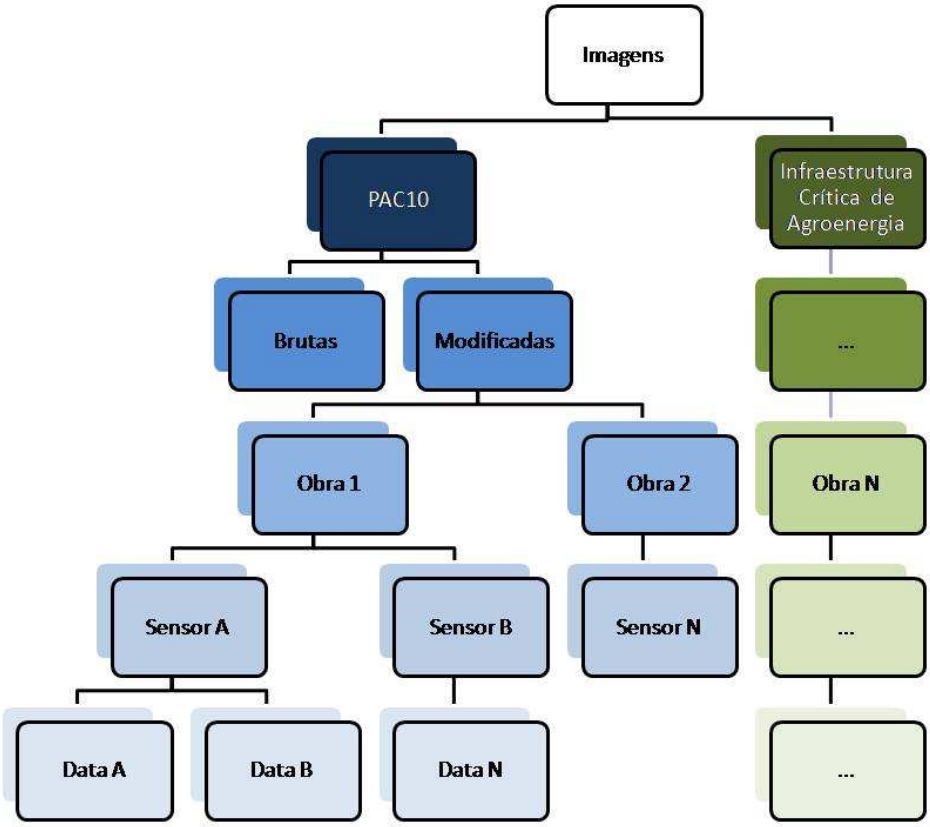


FIGURA 3 - HIERARQUIA DOS DIRETÓRIOS.

A estrutura de organização proposta propicia um melhor funcionamento do Banco de Metadados de Imagens Orbitais.

Após a organização das imagens elas são transformadas em serviços *web* ou *web services,* através da extensão *Publisher*, no programa *ArcMap*. A publicação dos *web services* se dá através do *ArcGis Server*.

Cada imagem catalogada no banco está associada a um *webservice*. A Figura 4 mostra a interface para visualização dos metadados. Essa interface permite

a inserção e a busca de metadados sobre as imagens de satélite adquiridas para o projeto e também sobre as obras que estão sendo monitoradas.

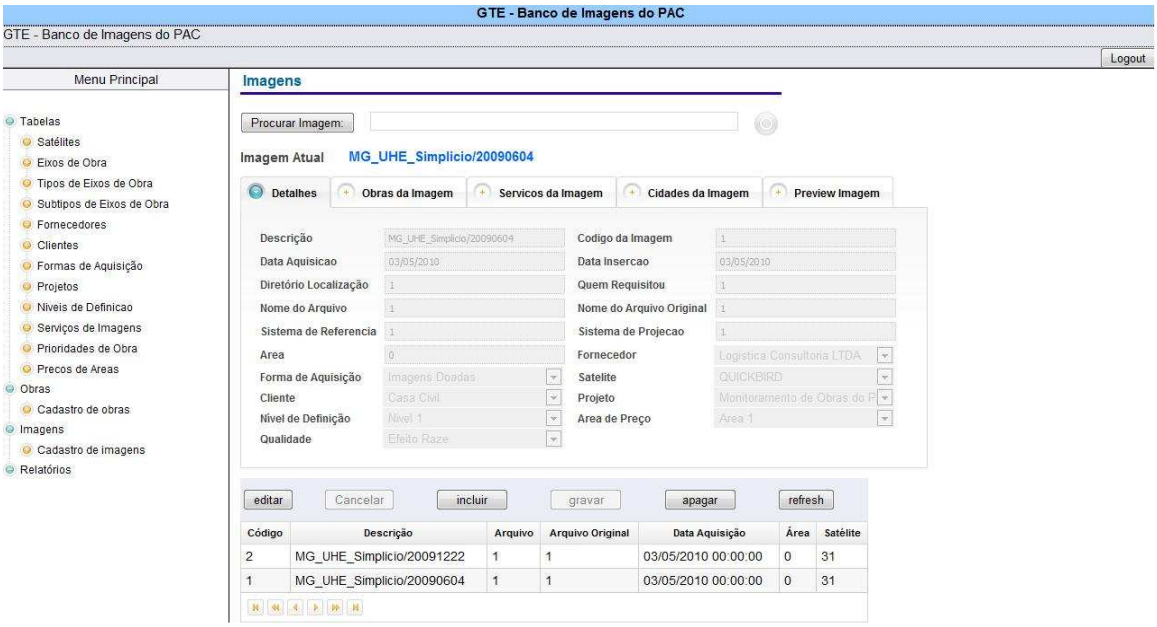


FIGURA 4 - ESTRUTURA DO BANCO DE METADADOS DO PAC.

A interface *webmapping* desenvolvida (Figura 5) contém uma barra de ferramentas, a qual permite a realização de diversas interações com a imagem, como por exemplo, medir áreas, distâncias e mostrar imagens de diversas datas de aquisição.

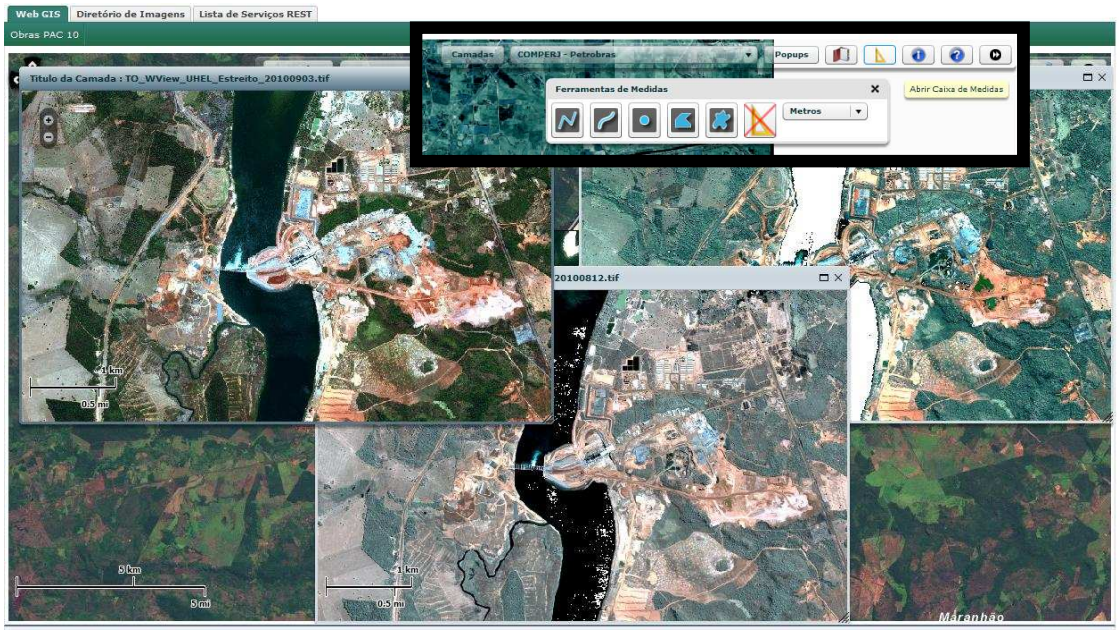


FIGURA 5 - EXEMPLO DA INTERFACE *WEBMAPPING*.

3.3 Ferramenta Para Cadastro e Gestão de Metadados de Obras de Infraestrutura e Imagens de Satélite do Projeto PAC 10

Como forma de facilitar a manipulação e melhorar a integração de dados, no contexto do monitoramento de obras de infraestrutura por imagens de satélites, as informações geográficas e as textuais foram integradas através da definição de um banco de dados digital, e do desenvolvimento de uma ferramenta que possibilite o cadastro e a gestão das informações contidas nesta base de dados. A ferramenta é um sistema de informação que roda dentro de um navegador *web*, possibilitando ser utilizada através da *internet* por múltiplos usuários simultâneos. Foi desenvolvida na linguagem Java, usando a tecnologia *JSF* (*Java Server Faces*). O banco de dados digital foi estruturado e hospedado no SGDB Microsoft *SQL Server* 2008. Esta plataforma foi escolhida devido à fácil integração dos metadados armazenados e as ferramentas oferecidas pelo programa *ArcGis Server*, que se utiliza da mesma plataforma do *SQL Server* 2008. A Figura 6 mostra a interface da ferramenta de cadastro e gestão dos metadados relacionados às obras e imagens.

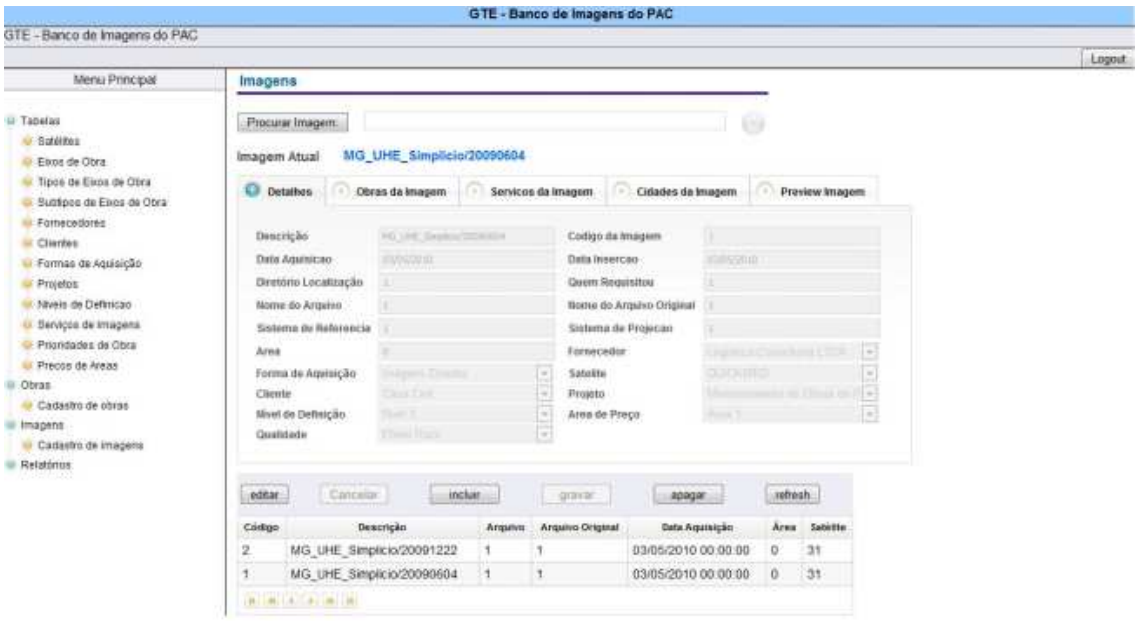


FIGURA 6 - INTERFACE DO BANCO DE DADOS E SEU MENU PRINCIPAL.

Para a composição e organização do acervo de imagens da GTE, foi gerado o Banco de Metadados de Imagens do PAC 10. Este banco permite diversas consultas, como relacionar:

- obras por datas (de aquisição-imageamento, inserção-termo de recebimento definitivo e disponibilidade);
- obras com número de imagens (n° de cenas), área da cena (algumas datas têm mais de uma cena para compor a imagem) e a área total contratada ou doada;
- imagens com o número, área da cena e área total (ou área paga no contrato);
- satélite/sensor com número de imagens;
- quantidade de imagens por estado.

As consultas ao banco podem ser executadas através de um *DataWarehouse* e não se limitam aos exemplos citados anteriormente. Um *DataWarehouse* armazena informações consolidadas sobre um banco de dados favorecendo a análise de um grande volume de dados, emissão de relatórios e obtenção de informações estratégicas utilizando o *OLAP* (Processo Analítico em Tempo Real) como principal ferramenta.

A ligação entre os metadados e as imagens orbitais é realizada através de uma *URL* (*Uniform Resource Locator* - endereço *web* para acesso pela *internet*), onde estão organizadas as imagens orbitais. As imagens orbitais descritas no banco estão organizadas por uma série de definições para facilitar a interface com o usuário final. As imagens foram adquiridas pela Embrapa e capturadas pelos sensores: Geoeye-1, Worldview-2, Ikonos-2, Eros-B e Quickbird-2. A Figura 7 mostra a interface de cadastro dos satélites utilizados na aquisição das imagens.

FIGURA 7 - ÁREA DE CADASTRO DOS SATÉLITES.

Os dados das obras encontradas no banco estão dispostos por eixo, tipo e subtipo de obra, segundo as hierarquias propostas pela Casa Civil da Presidência da República, conforme apresentado na Figura 8.

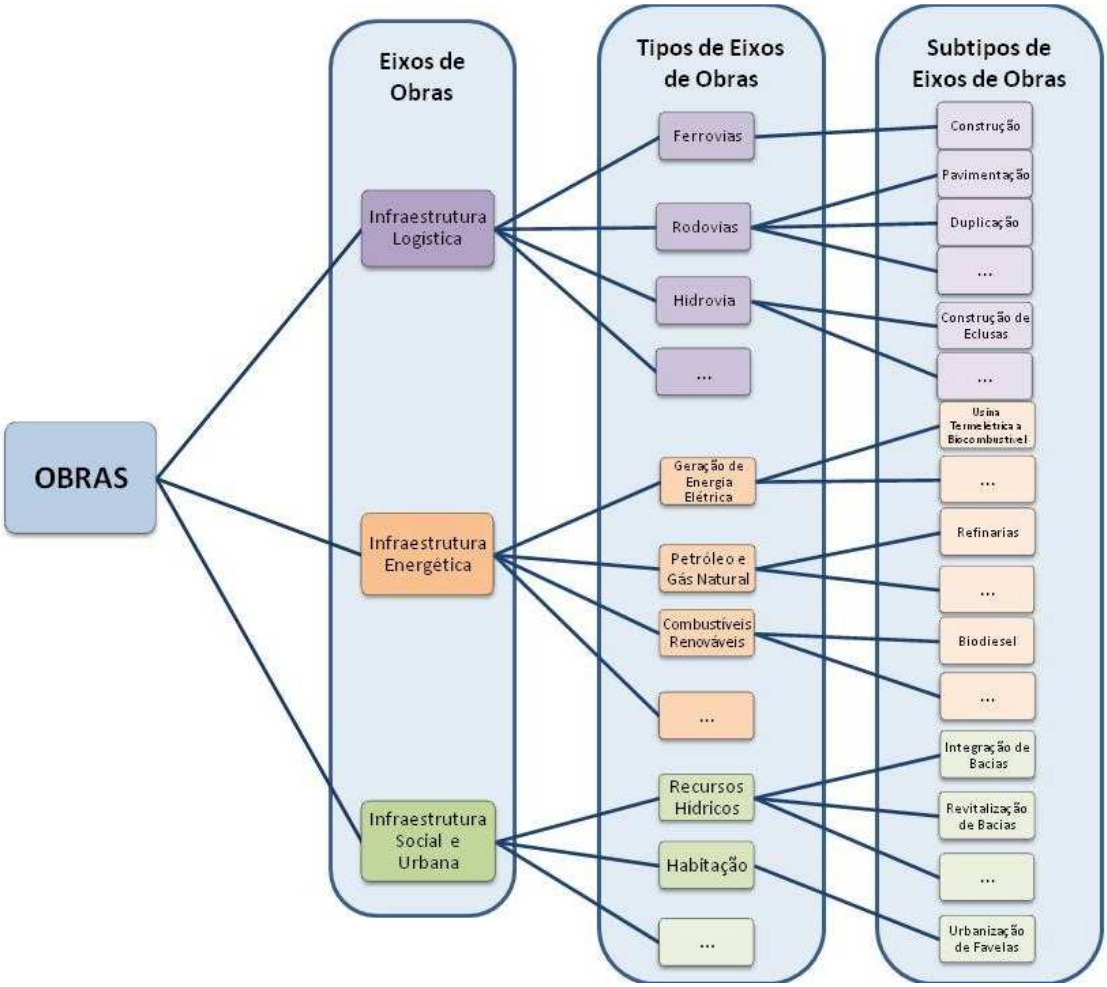


FIGURA 8 - HIERARQUIA DAS OBRAS INFRAESTRUTURA, SEGUNDO CLASSIFICAÇÃO DA CASA CIVIL DA PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA.

Os eixos das obras de infraestrutura são classificados como: logística, energética e social e urbana. Evidentemente, a Figura 8 apenas ilustra e não expõe todos os tipos e subtipos de obra. O eixo de infraestrutura logística está separado em alguns tipos de obras, como: ferrovias, rodovias e hidrovias. O tipo “ferrovias” possui subtipos de obras e o tipo “rodovias” possui subtipos de obras como ”pavimentação”, “duplicação” e outros. A Figura 9 mostra a tela de cadastro de “subtipos” de obras. Pode-se perceber que, no exemplo da Figura 9, para o eixo “infraestrutura logística” no tipo de eixo “rodovias” existem 7 possibilidades de “subtipos”.

FIGURA 9 - EXEMPLO DE CADASTRO DE SUBTIPO DE OBRA DE INFRAESTRUTURA LOGÍSTICA.

Para a classificação das obras do eixo de infraestrutura energética, foram estabelecidos os tipos: “petróleo e gás natural” e “geração de energia elétrica”. O tipo “petróleo e gás natural” tem como subtipos, por exemplo, “refinarias” como mostra a Figura 10.

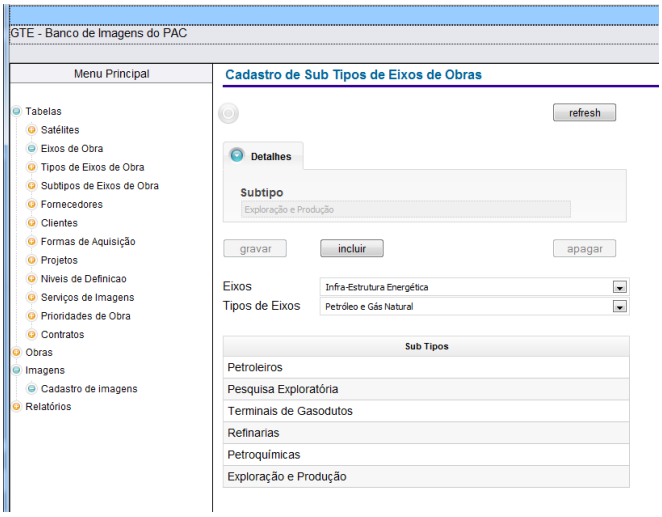


FIGURA 10 - EXEMPLO DE CADASTRO DE SUBTIPO DE OBRA DE INFRAESTRUTURA ENERGÉTICA.

Na classificação das obras do eixo de infraestrutura social e urbana foram estabelecidos os tipos: “recursos hídricos” e “habitação”. O tipo “recursos hídricos” tem como subtipos, por exemplo, “integração de bacias” e “revitalização de bacias”.

Para garantir a rastreabilidade da fonte de cada informação disponibilizada, o fornecedor de cada imagem é cadastrado no banco de dados. As imagens contidas no banco foram adquiridas através de doações (imagens doadas) e de compra junto a empresas fornecedoras (imagens compradas).

As definições técnicas encontradas nas imagens que compõem este banco de dados estão baseadas na forma como a imagem é adquirida. Estes termos se referem à qualidade com que a imagem é adquirida. Esta informação é útil para saber se determinada imagem já passou por algum processo de correção radiométrica ou geométrica pela empresa fornecedora ou representante. Esta informação é armazenada em uma tabela do banco de dados.

As imagens são publicadas, para ter acesso via *web*, utilizando-se o programa *ArcGis Server*, no formato de *web services*, e se integram ao banco de metadados por meio de um campo específico que descreve sua *URL* de acesso. Para melhorar a visualização e garantir uma melhor acessibilidade aos dados e às imagens das obras no banco pelos mais diferentes tipos de usuários utilizaram-se serviços *web* ou *web services*. Estes são uma solução para a integração de sistemas e na comunicação entre aplicações diferentes. Com esta tecnologia, é possível que novas aplicações possam interagir com aquelas que já existem e que sistemas desenvolvidos em plataformas diferentes sejam compatíveis. Os *web services* são formas de apresentar uma imagem de satélite, através de um padrão de interoperabilidade, de forma que outros programas possam acessá-la.

Cada título deve conter as informações de modo a facilitar a sua localização e identificação. Para cada obra é identificado e nomeado o estado (duas letras) ao qual ela pertence, seguido de como a imagem é chamada (três letras). Segue-se a data (formato aaaammdd) em que a imagem foi tomada, e os *links* dos diferentes formatos de apresentação. Por exemplo, no caso de um serviço *web* de uma imagem da Usina Hidrelétrica de Simplício, localizada no estado de Minas Gerais e tomada no dia 22 de dezembro de 2009, tem-se: MG_UHE_Simplicio/20091222.

3.3.1 Inserção das obras no banco de dados

Para integrar as obras no banco de dados do PAC 10, faz-se o uso de uma organização na qual as informações são inseridas primeiramente, no campo (aba) “DETALHES” pelo código da obra. Foi definido um código de uso interno pela GTE/Embrapa e outro código foi definido pela Casa Civil, pois as bases de dados e o propósito são distintos. Além dos códigos também é inserido uma breve descrição da obra (Exemplo: UHE Simplício) observado na Figura 11.

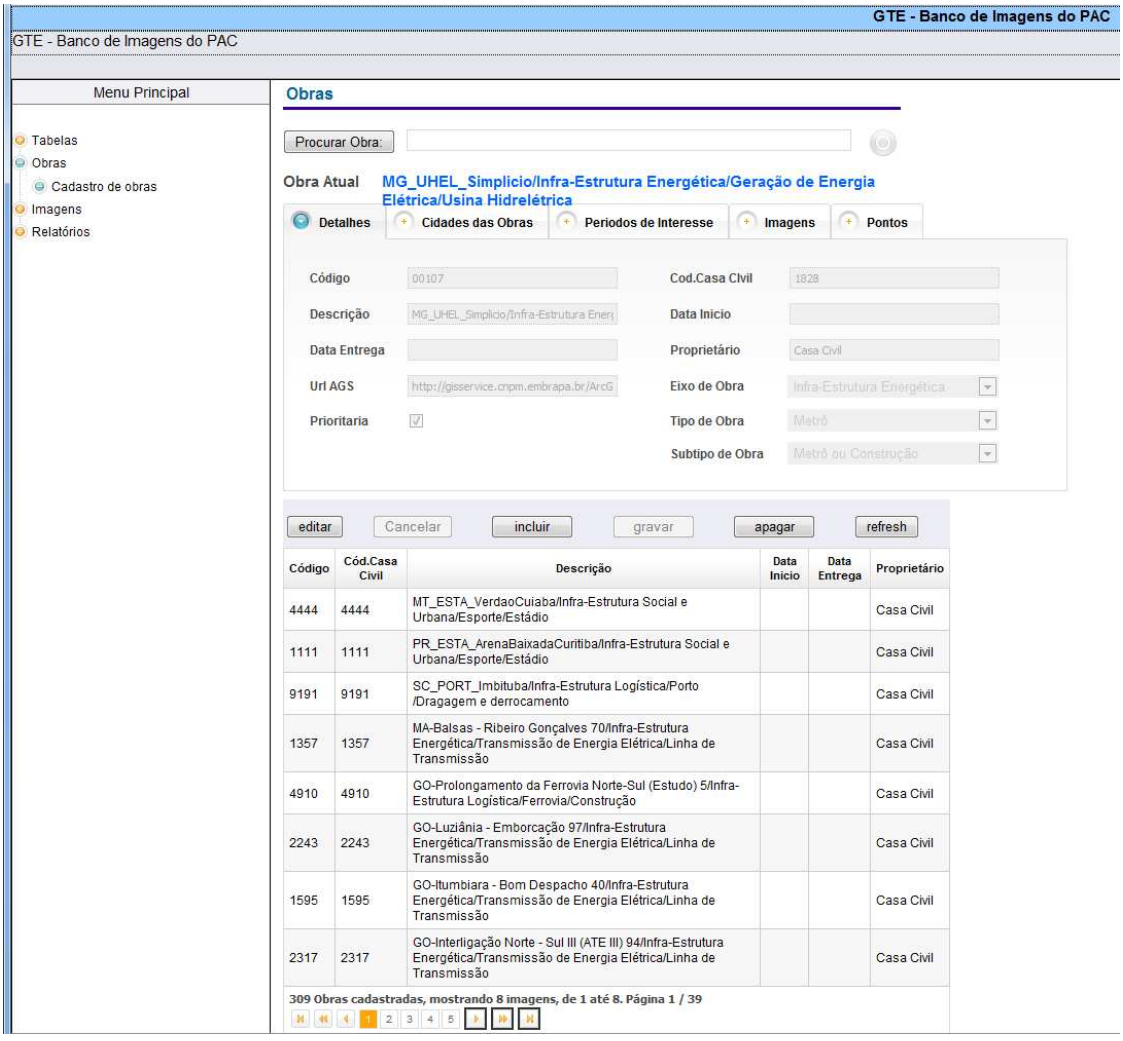


FIGURA 11 - CADASTRO DOS DADOS DAS IMAGENS.

Na aba “CIDADES DAS OBRAS”, Figura 11, são adicionadas as cidades e os estados onde cada obra está localizada.

Na aba “IMAGENS” na Figura 12, são relacionadas as imagens nas quais cada obra pode ser visualizada. Uma mesma obra poderá apresentar várias imagens, como mostra a Figura 12, no campo “imagens da obra”.

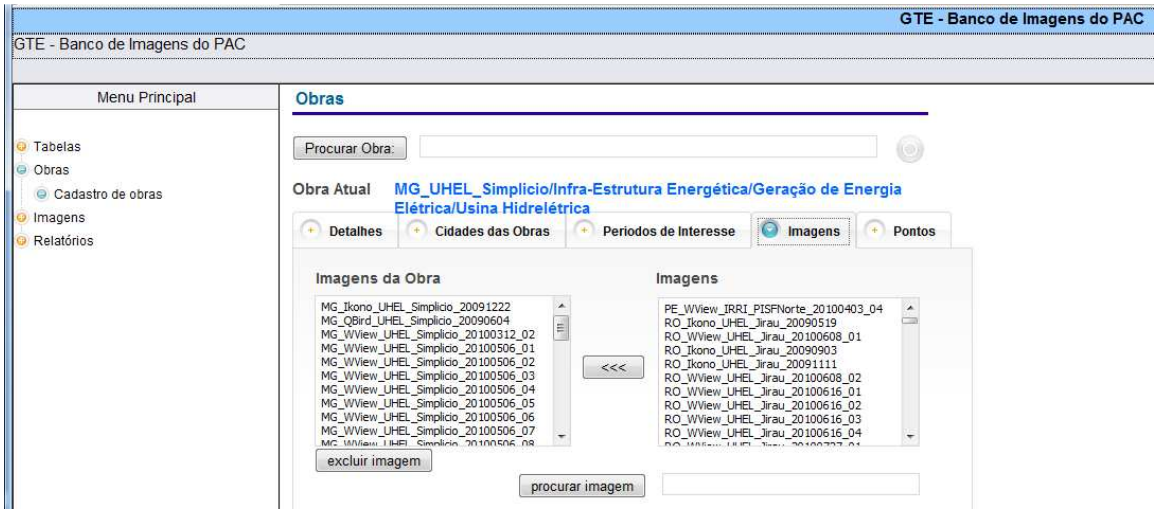


FIGURA 12 - IMAGENS DA OBRA

Na aba “PONTOS” são incluídos os pontos ou polígonos nos quais a obra está inserida. Cada ponto recebe uma descrição, a categoria geométrica ao qual pertence (pontos, linhas ou polígonos), bem como do eixo de obra, o tipo e o subtipo para cada ponto ou trecho da obra, como demonstra a Figura 13.

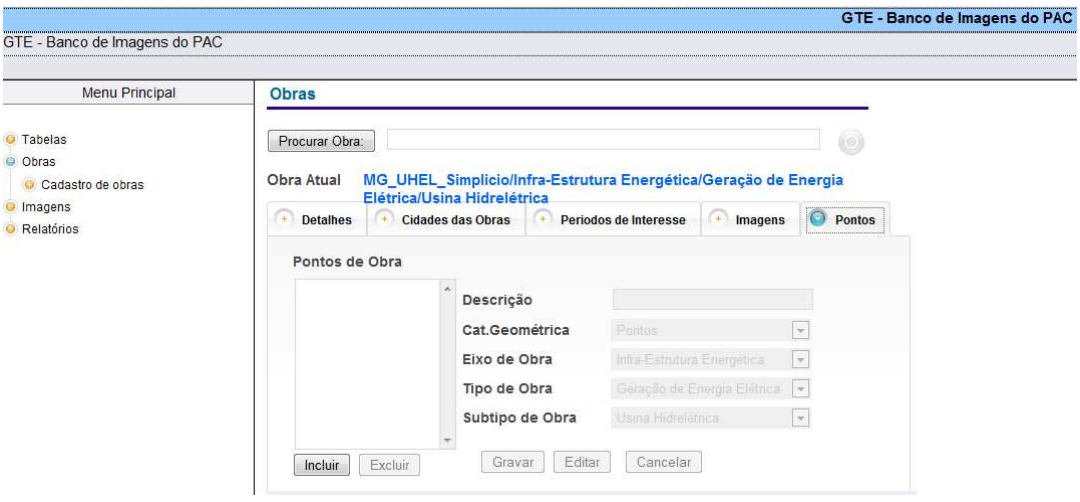


FIGURA 13 - PONTOS DA OBRA

3.3.2 Inserção das imagens no banco de dados

Cada imagem adicionada ao banco estará associada a uma *URL*, demarcada e adicionada anteriormente como “serviços de imagens”. No “cadastro de imagens”, têm-se diferentes abas com suas diferentes finalidades.

Na aba “DETALHES” na Figura 14, tem-se a descrição da obra (nomenclatura usada pela Embrapa para uma melhor identificação da imagem, contendo: o estado; o nome da obra; a data da imagem, como por exemplo: MG_UHE_Simplicio/20090604); a “data de aquisição” – data na qual a imagem foi obtida pelo seu satélite; um “diretório de localização” – onde a imagem se encontra armazenada; “nome do arquivo”, que servirá como localização e identificação da imagem, podendo ser o mesmo nome da descrição. No campo “sistema de referência” são adicionadas as coordenadas UTM; no campo “área” é incluída a área de cobertura de cada imagem; no campo “Formas de aquisição” é descrito se as imagens foram compradas ou doadas; no campo “cliente” é identificado o nome do cliente que utilizará as imagens; no campo “nível de definição” é informada a definição estabelecida pela imagem bruta obtida através de doação ou compra das imagens; no campo “Qualidade” é classificada a qualidade que a imagem se encontra (alta, média ou baixa resolução).

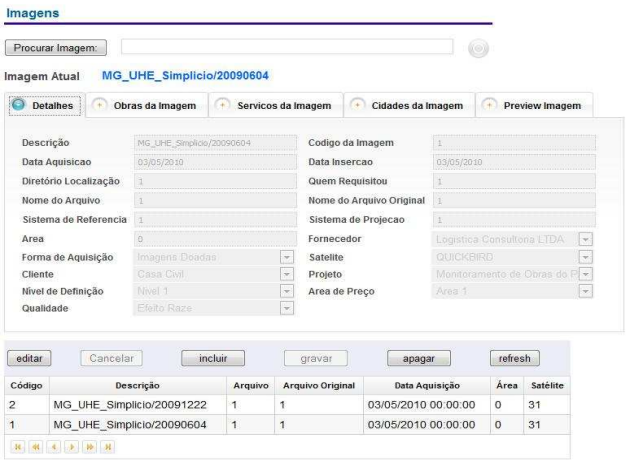


FIGURA 14 - CADASTRO DOS DADOS DAS IMAGENS.

No campo “código de imagem” se insere o mesmo código elaborado pela GTE/Embrapa para identificar as obras; a “data de inserção” é a data em que a imagem foi indexada ao banco de dados geográficos; no campo “quem requisitou” são inseridos os clientes relacionados à imagem; no campo “nome do arquivo

original” se insere o nome da imagem como identificada quando vinda da empresa fornecedora; no campo “sistema de projeção” é colocada a referência em que cada imagem foi disponibilizada (WGS 84); no campo “fornecedor” é nomeado o fornecedor das imagens; no campo “satélite” é identificado o satélite utilizado para se obter cada imagem; no campo “projeto” é especificado o projeto ao qual a imagem está relacionada e no campo “área de preço” é colocado o preço da área de cada obra na imagem.

Na aba “SERVIÇO DE IMAGENS” na Figura 15 adiciona-se os serviços *web* relacionados às imagens inseridas.

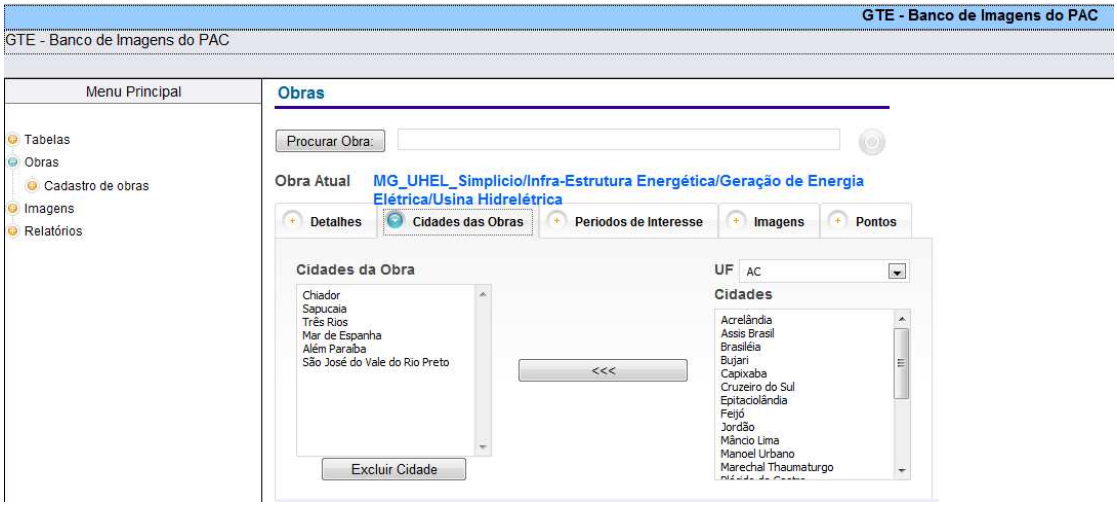


FIGURA 15 - ABA DA INTERFACE DE CADASTRO DOS DADOS DAS IMAGENS.

3.3.3 O Modelo Entidade - Relacionamento do banco de dados

O Modelo Entidade-Relacionamento do banco de dados é composto por três conceitos: Entidade, Atributo e Relacionamento. Os objetos que compõem a realidade são as **Entidades**. As características que se deseja conhecer sobre os objetos que compõem a realidade são os **Atributos**. A forma como os objetos interagem entre si constituem o **Relacionamento (**SILBERSCHATZ, 2006**)**.

A modelagem de dados consiste em uma série de análises conceituais e lógicas para encontrar a melhor disposição possível de armazenamento e manutenção das informações no banco de dados.

O modelo Entidade - Relacionamento (DER) do banco de dados, com os metadados das obras de infraestrutura e as imagens orbitais, foi estruturado de forma a permitir que os dados das obras sejam recuperados por Eixos de Obra, Tipos de Eixos de Obras, e subtipos de Eixos de Obras, conforme Figura 16 que representa graficamente o **modelo de entidade e relacionamentos**.

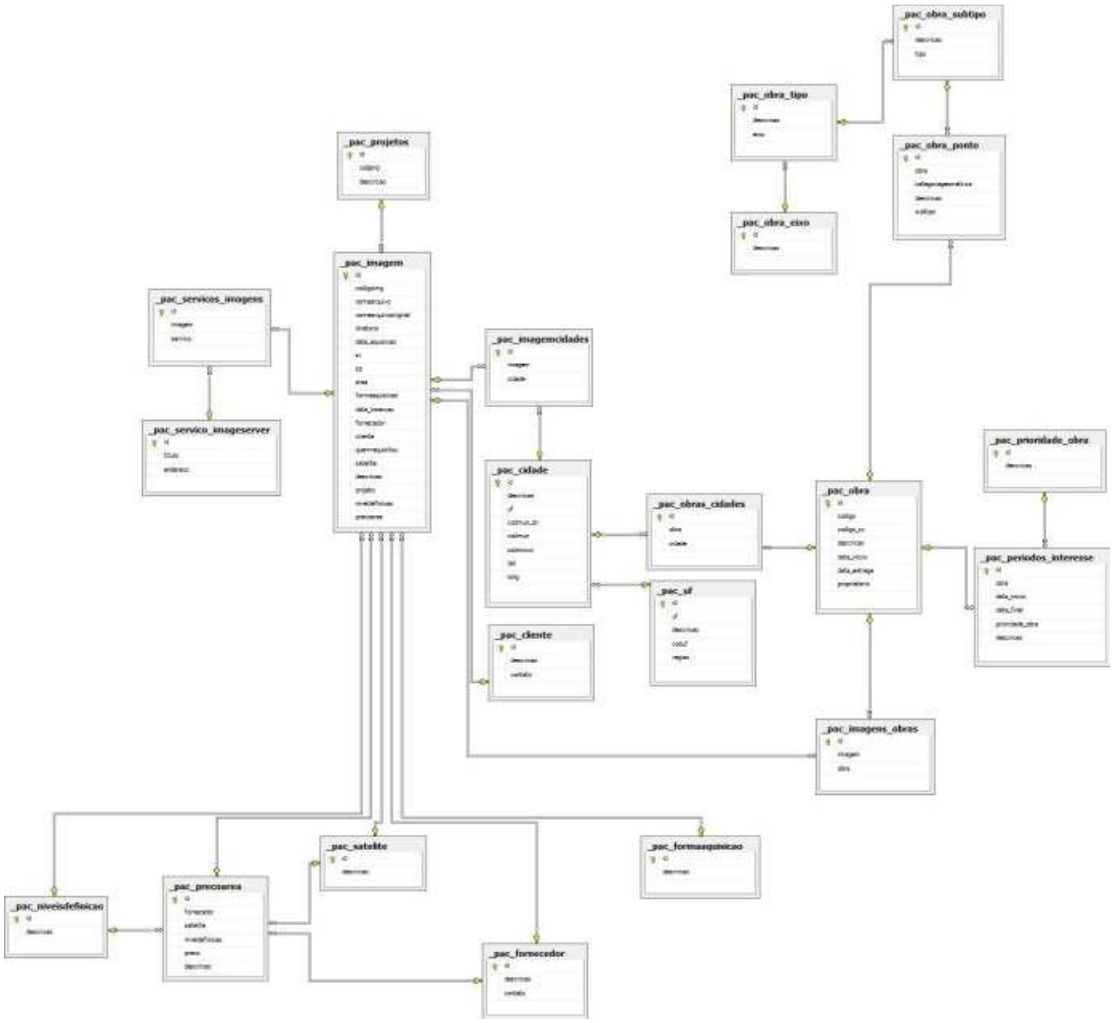


FIGURA 16 - DIAGRAMA ENTIDADE RELACIONAMENTO REPRESENTANDO A ESTRUTURA DE BANCO DE DADOS CRIADA PARA ARMAZENAR OS DADOS DAS OBRAS E IMAGENS ORBITAIS.

3.4 Webmapping Desenvolvido em Tecnologia *Flex* Para Análises de Imagens e Monitoramento de Obras de Infraestrutura

A publicação dos mapas através do *ArcGis Server* e sua organização no banco de dados, tem como produto final um *webmapping* capaz de fornecer algumas ferramentas que possibilitam uma interação facilitada com o usuário final.

3.4.1 Descrição da interface *web*

A interface é composta por um menu principal, onde inicialmente aparece uma “seta” com o ícone , que ao ser clicada, abre uma barra de ferramentas de visualização e análise, Figura 17.

Esse menu oferece 8 opções de comando: (1) “camadas”, (2) “obra”, representado com o nome da obra, (3) “*popups*”, (4) ícone de um “livro guia”, referente a favoritos, (5) ícone de um “esquadro”, referente a barra de ferramentas métricas, (6) ícone “i”, que fornece informações sobre o projeto PAC10, (7) ícone “?” (interrogação), que é a ajuda para manusear a interface e por fim, (8) opção de fechar esse menu.

FIGURA 17 - BARRA DE FERRAMENTAS DA INTERFACE

Existe ainda um menu para direcionar as imagens, que se encontra no canto superior à esquerda, conforme mostrado na Figura 18. Esse comando é composto por duas funções principais, referentes às setas maiores e menores. As setas menores, centralizadas no ícone, salvam a visualização anterior, e as setas maiores são um instrumento de navegação pela imagem.

FIGURA 18 - ÍCONE PARA DIRECIONAR AS IMAGENS.

O comando ”Camadas” fornece a opção de selecionar diferentes imagens da mesma localidade, determinada no comando “Obra”, com datas distintas e sensores diferentes, dependendo da quantidade de imagens disponíveis para a obra de interesse. Essa função possibilita uma melhor comparação e visualização do andamento das obras, uma vez que permite selecionar a quantidade desejada de camadas.

A regra de nomenclatura adotada (nome do sensor, nome da obra e data) fornece a identificação sobre a data que a imagem foi adquirida e o sensor que capturou a imagem, como pode ser observado na Figura 19, tomando como exemplo a segunda camada, que é uma imagem referente ao sensor Ikonos-2, do dia 15 de agosto de 2009.

FIGURA 19 - EXEMPLO DE CAMADAS

O comando Popups (*popups*) é uma ferramenta complementar a “camadas” e funciona diretamente relacionado com a camada que estiver selecionada, abrindo uma janela menor referente à imagem em questão, Figura 20.

FIGURA 20 - EXEMPLO DE *POPUPS*.

Essa ferramenta é interessante por proporcionar a oportunidade de uma comparação da dinâmica das obras mais detalhada, uma vez que podem ser visualizados, lado a lado, *popups* com imagens de datas distintas. Além disso, os

popups podem responder a alguns comandos na imagem, se selecionada a opção “sincronizar *popups*” e “Sincronizar Mapa Principal”, como “*zoom*” (Figura 21). Lembrando que para dar *zoom in* ou *zoom out* é preciso clicar em cima da imagem, para que responda a esse comando. Para dar o *zoom in* (aproximar) em uma região específica, deve-se segurar a tecla “*shift*”, junto com o botão esquerdo do *mouse* (nesse momento, percebe-se que com o *mouse* será possível desenhar sobre a imagem, o que possibilita a seleção do *zoom* na área desejada) e soltar.

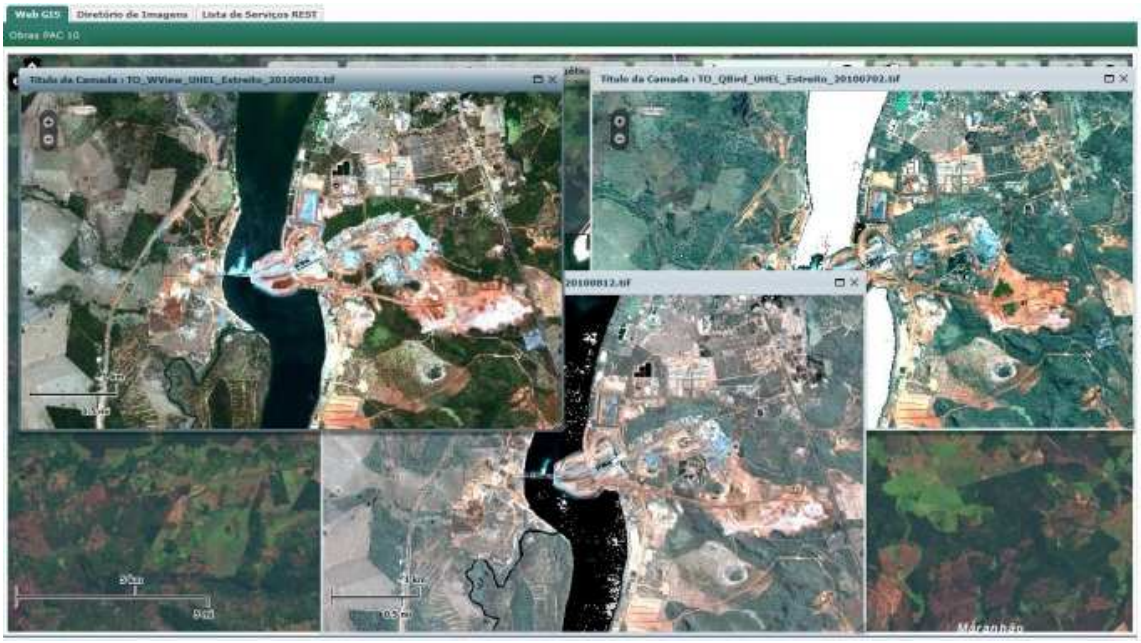


FIGURA 21 - MODELO DE *POPUPS* COM *ZOOM IN.*

A Figura 21 exemplifica o comando de “*popups”*. Pode-se observar três *popups* abertos, referentes às camadas selecionadas, todos eles com o mesmo *zoom* da mesma área. Os “*popups”* são ferramentas muito versáteis, podendo ser minimizados ao clicar na barra de título, e também redimensionados, o que proporciona uma melhor comparação entre as imagens.

Em seguida, a próxima ferramenta do menu ,ícone “livro guia”, possibilita salvar ou visualizar um histórico referente a favoritos, ou seja, salvam ou mostram alguma visualização estratégica ou importante da imagem. Ao clicar nesse ícone, ele abrirá uma janela complementar referente aos favoritos já salvos e as posições padrões, sempre relacionados com a imagem que está selecionada no campo “obras” (Figura 22).

FIGURA 22 - EXEMPLO DE JANELA “FAVORITOS”.

Para salvar o *zoom* que representa a posição específica da imagem, deve-se clicar no ícone “livro guia”, com um símbolo verde que aparece na janela de “favoritos” (Figura 22), e em seguida nomeá-lo e clicar em adicionar, como mostra a Figura 23.

FIGURA 23 - EXEMPLO DE ADICIONAR FAVORITOS.

A próxima opção da barra de ferramentas é o *link* representado pelo , “Esquadro”, que abre o menu de ferramentas de medidas.

Como demonstrado na Figura 23, ao clicar no “esquadro”, este abrirá uma barra de ferramentas complementar, com várias opções para medir distâncias e

áreas. A primeira opção (da esquerda para direita) refere-se à ferramenta linha, que permite a medição do traçado de uma linha retilínea na imagem. Para iniciar uma linha, deve-se clicar no ponto de partida desejado, caminhar com o clique solto até o ponto final e dar outro clique para finalizar a linha. Para que apareça o tamanho da medida, deve-se dar duplo clique no ponto final da linha traçada, como mostra o exemplo na Figura 24.

FIGURA 24 - BARRA DE FERRAMENTAS DE MEDIDAS.

O penúltimo ícone da barra de ferramentas medidas, representado por um esquadro com um "***X***" vermelho, é o instrumento para cancelar o comando de medida que estiver ativo.

A barra de ferramentas principal apresenta o ícone , "i", que poderá ser usado para abrir um *popup* que traz um breve resumo sobre o Projeto PAC 10, contendo seus objetivos, metas e resultados esperados, Figura 25.

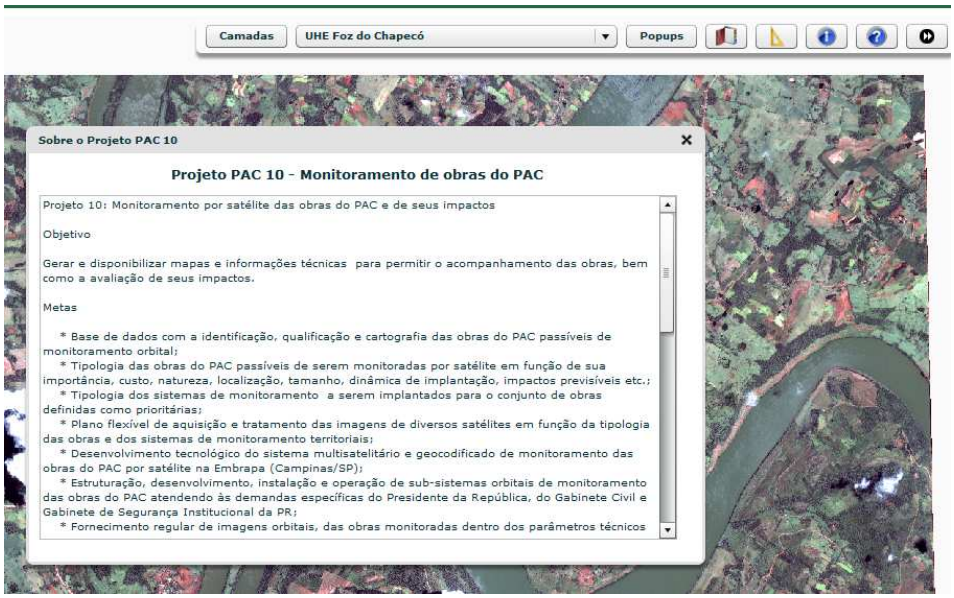


FIGURA 25 - DESCRIÇÃO DO PROJETO PAC 10.

Os dois últimos ícones da barra de ferramentas principal representam, respectivamente, o , *help,* (Figura 26) e a opção de esconder a barra de ferramenta, clicando no ícone .

FIGURA 26 - *HELP* DA INTERFACE

A interface apresenta uma aba no canto esquerdo superior (Figura 27), que contém os atalhos para o diretório das imagens e *ArcGis Server*.

FIGURA 27 - ABAS DE ATALHO.

O diretório de imagens possui os metadados das imagens, os quais são cadastrados e geridos através de outra interface, também desenvolvida especialmente para o projeto PAC 10 e descrita no comunicado técnico 28 (HOLLER *et al.*, 2010b). O vínculo entre o sistema *webmapping* e o BD de Metadados é estabelecido através de um endereço *URL* de cada serviço *web*.

O banco de dados dos metadados, alimentado pela GTE/Embrapa, tem como objetivo classificar, organizar e descrever detalhadamente as imagens e obras monitoradas. O BD digital foi estruturado e hospedado no SGDB Microsoft *SQL Server* 2008 (HOLLER *et al.*, 2010a).

Como exemplo, na Figura 28 pode-se identificar o sistema de referência, o satélite responsável pela imagem etc.

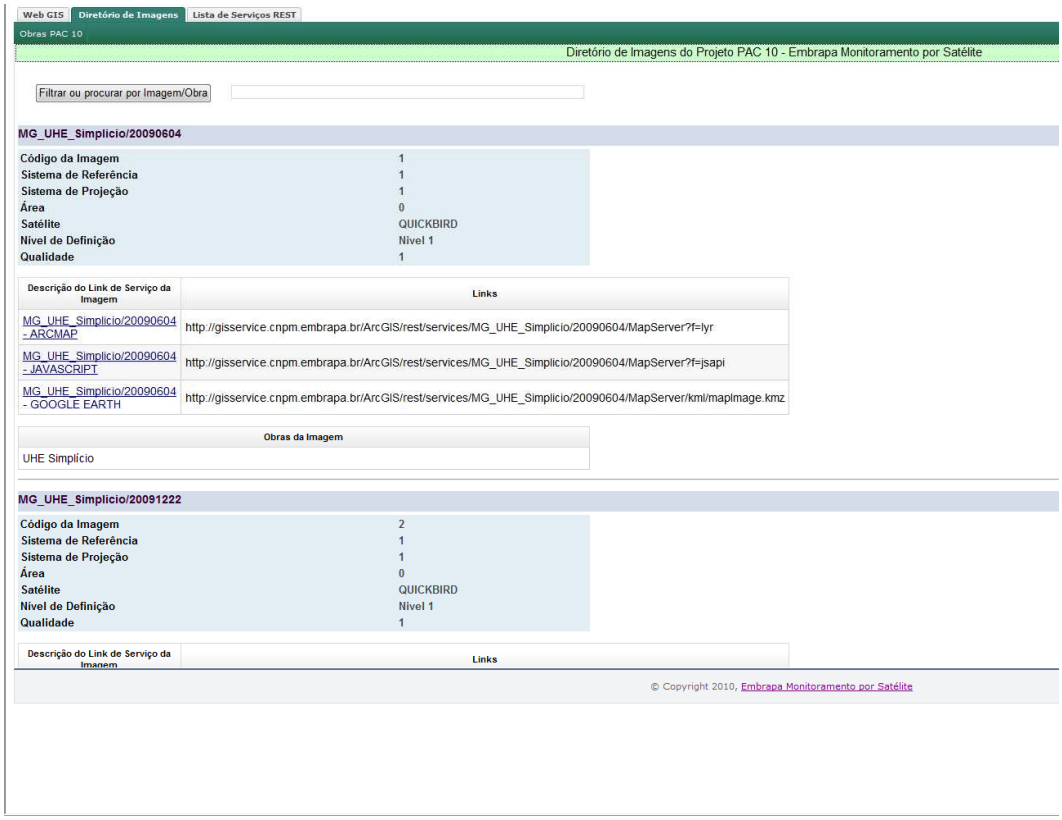


FIGURA 28 - EXEMPLO DO DIRETÓRIO DE IMAGENS

No último atalho estão os serviços referentes ao *ArcGis Server*, que possibilitam a visualização em outras interfaces, como mostrado na Figura 29.

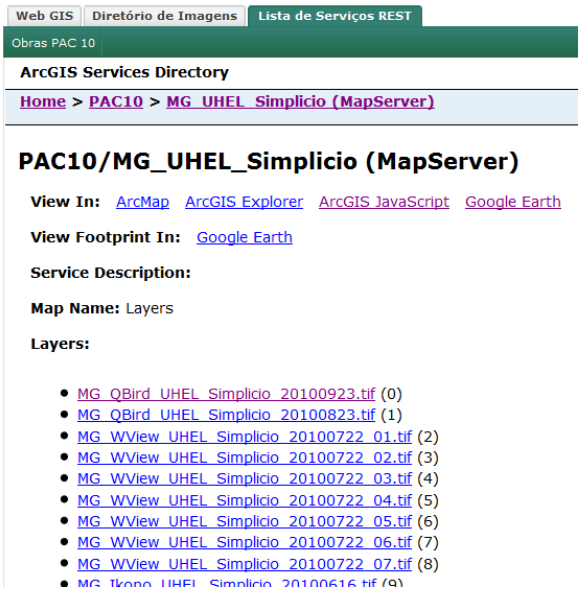


FIGURA 29 - EXEMPLO DO DIRETÓRIO DO *ARCGIS SERVER*

3.5 Método de Extração de Informações Para Monitoramento Espaço-temporal de Grandes Obras de Infraestrutura a partir da Aplicação do Algoritmo da Máxima Verossimilhança em Imagens de Satélite de Alta Resolução

Nesta etapa do projeto foram utilizadas as ferramentas do programa *ERDAS Imagine* 10 com apoio do *ArcGis* 9.3. O *ERDAS Imagine* disponibiliza três métodos para processamento: Máxima Verossimilhança (*Maximum Likelihood*); Distância Mahalanobis (*Mahalanobis Distance*) e Distancia Mínima (*Minimum Distance*). No entanto, foi utilizado o algoritmo a partir de análise de Máxima Verossimilhança por ser considerado o mais preciso dos classificadores implementados no programa *ERDAS Imagine* (ERDAS IMAGINE, 2010).

O algoritmo da Máxima Verossimilhança (MAXVER) pressupõe a ponderação das distâncias entre as médias dos níveis digitais das classes, utilizando parâmetros estatísticos. Como é um método de classificação supervisionada, é fundamental definir um conjunto de amostras de treinamento para obter o diagrama de dispersão das classes. O diagrama permite calcular a probabilidade estatística de um determinado *pixel* pertencer a uma classe particular de cobertura da terra (LILLESAND *et al.*, 2004 citados por MOREIRA, 2009). A boa classificação, nessa metodologia, exige um número elevado de amostras de treinamento.

Existem outros métodos de classificação supervisionados que merecem alguma citação, mas não são contemplados pelo programa *ERDAS Imagine* 10. Exemplos: Distância Euclidiana ou método *Bhattacharya* e alguns menos tradicionais como: método SAM – (*Spectral Angle Mapper*), SVM (*Support Vector Machine*), Arvore de Decisão utilizando redes neurais, etc.

O programa de monitoramento das obras do PAC utiliza imagens de satélite de vários sensores de alta resolução espacial (Tabela 6) com aquisição de imagens em datas distintas e regular para uma mesma obra. No entanto, a aplicação da metodologia que segue, exemplifica o processamento em uma obra, data, e imagem especifica do Ikonos-2 e podem ser exercidas em outros sensores (com exceção do satélite Eros-B, que disponibiliza somente a banda pancromática) e obras de interesse. A variabilidade temporal na aquisição das imagens (datas diferentes para

uma mesma obra) permitiu o monitoramento de diversas obras de engenharia em infraestrutura do PAC.

TABELA 6 - IDENTIFICAÇÃO E ALGUMAS CARACTERÍSTICAS DAS IMAGENS DE SATÉLITES DE ALTA RESOLUÇÃO ESPACIAL UTILIZADAS NO MONITORAMENTO DAS DIVERSAS OBRAS DE INFRA-ESTRUTURA DO PAC.

Satélite	**Bandas**	**Resolução**	
		Espacial	**Radiométrica**
Ikonos 2	Multiespectral	4,00 m	11 bit
	Pancromática	1,00 m	11 bit
QuickBird	Multiespectral	2,40 m	16 bit
	Pancromática	0,60 m	16 bit
WorldView 2	Multiespectral	2,00 m	16 bit
	Pancromática	0,60 m	16 bit
Eros	Pancromática	0,70 m	10 bit

Na sequência é apresentado um exemplo de aplicação dos procedimentos para classificação supervisionada de uma obra específica do PAC.

A primeira etapa foi padronizar as imagens a serem processadas para apresentarem sempre a mesma resolução espacial e radiométrica, como segue:

- reescalonamento da resolução radiométrica para 8 bit.
- reamostragem da resolução espacial para 4,00 m;

A padronização teve como finalidades possíveis, comparar a classificação entre diferentes sensores e métodos, mas principalmente, minimizar a intensidade de informação contida nas imagens.

No entanto, é importante ressaltar que foi utilizada toda a resolução (sem padronização) disponibilizada pelo sensor, produzida pela fusão das bandas multiespectrais e pancromática (fusão MSPan), para auxiliar na identificação das feições de uso, e assim, definir as amostras de treinamento de cada classe.

Deliberou-se ainda limitar o número de classes de uso, para no máximo sete, sendo cinco o número ideal a ser utilizado quando possível. Restringir as classes

significa facilitar as análises e simplificar as interpretações dos usuários do sistema de monitoramento orbital de obras do PAC, de outras áreas e técnicos não especializados.

Dessa forma, alguns temas foram agrupados em uma única classe, como por exemplo:

- Áreas agrícolas: representam culturas perenes, anuais e pastagens;
- Matas: toda e qualquer cobertura florestal, nativa ou cultivada;
- Construções: áreas urbanas, obras em andamento, casas, barracões, etc;
- Água: qualquer curso d'água (rio, represas, lagos);
- Solo: solo exposto em áreas agrícolas, estradas de terra, canteiro de obras em andamento.

Apesar do agrupamento de classes, alterações nessa nomenclatura podem ser realizadas, criando classes de acordo com as necessidades pertinentes e específicas da região de cada obra.

Em alguns casos, por exemplo, foi necessário inserir uma classe intitulada “sem classificação” devido à impossibilidade de analisar as feições do terreno, tais como: sombras na imagem provocadas por nuvens e ou a própria nuvem.

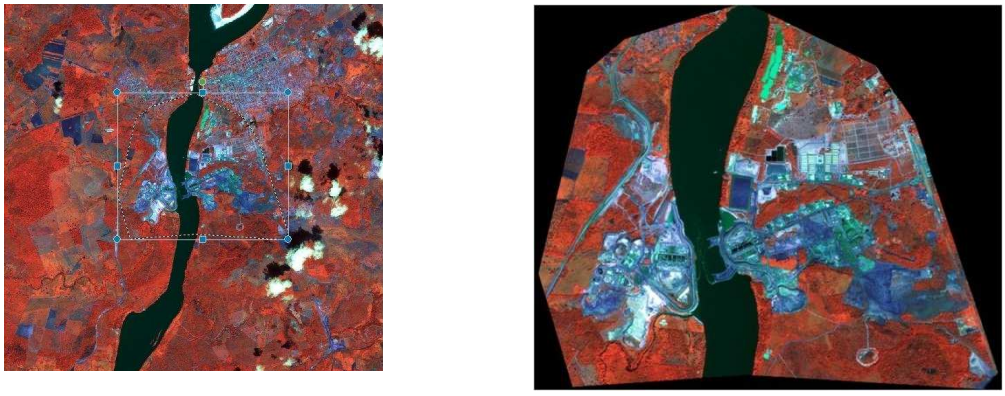
As imagens de alta resolução identificam sombras no terreno devido ao ângulo de incidência de luz em objetos com feições de dimensões diferenciadas dificultando o processo de classificação. Alguns exemplos encontrados foram: árvores isoladas, divisa entre mata e outra feição mais baixa (solo exposto, pastagem, rio) e edificações altas.

Para tornar o processo de classificação menos exaustivo, foi realizada a delimitação da área em torno da obra a ser classificada. Ao limitar o espaço físico de análise à área de influência direta (AID) da obra e seu entorno, eliminaram-se setores desnecessários (por exemplo: presença de nuvem) e atenuou a necessidade de identificar novas e/ou outras classes de uso das terras. Esse procedimento diminuiu a possibilidade de confusão espectral.

3.5.1 Preparação das imagens

No processo de preparação das imagens, foi realizada a fusão das bandas multiespectrais (fusão MS) correspondentes às bandas azul, verde, vermelho e infravermelho próximo (*blue, green, red e near infra-red*).

A partir dessa fusão, providenciou-se o recorte da área de interesse (*AOI – Area of Interest*) apresentado nas Figuras 30a e 30b. Para tanto, definiu-se visualmente uma ***AOI*** entorno da obra. Esse processo foi efetuado manualmente, a partir do comando disponível no *ERDAS Imagine* 10 e permitiu a definição de uma área irregular (Figura 30).



a. Imagem com ***AOI*** definida. b. Imagem recortada.

FIGURA 30 - IMAGEM IKONOS-2, REFERENTE À USINA HIDROELÉTRICA, COM *AOI* DEFINIDA E RECORTADA.

Após recorte, realizou-se a padronização da imagem. Primeiramente, providenciou-se o reescalonamento da resolução radiométrica da imagem previamente recortada para 8 bit. Isso significa uma redução na escala dos níveis de cinza da imagem para 256 em contrapartida aos valores originais iguais a 2048 referentes a 11 bits (Tabela 6). Como a aplicação da metodologia exemplifica o processamento em uma imagem do satélite Ikonos-2, a reamostragem da resolução espacial proposta para 4 metros não foi executada, já que a resolução espacial das bandas multi-espectrais desse sensor apresentam esse mesmo valor.

Na Figura 31, observa-se em destaque informações pertinentes ao processo de padronização proposto. Em azul, destaca-se os valores atribuídos ao nível de cinza (resolução radiométrica) definido para 8 bit. E em vermelho destaque para a

resolução espacial referente ao tamanho do *pixel* de 4 x 4 metros. Tem-se ao fundo (do quadro de informação) a imagem em falsa cor e padronizada.

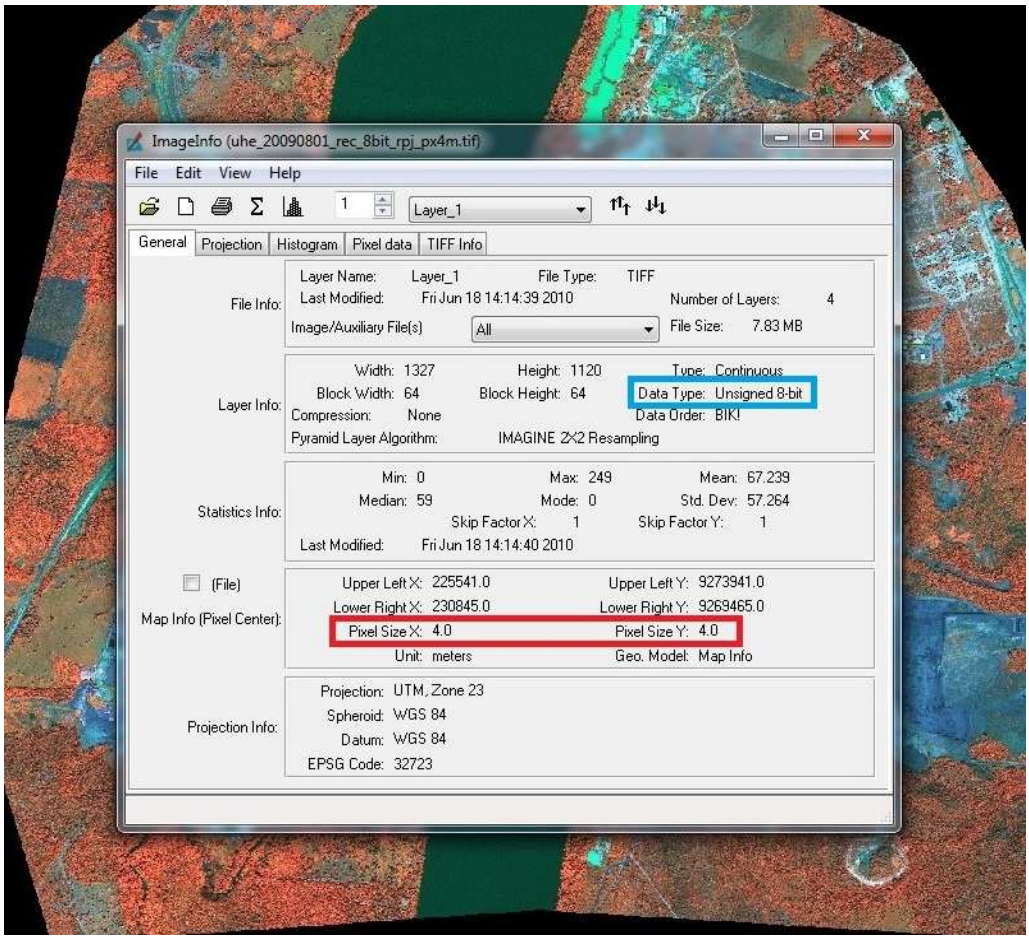


FIGURA 31 - INFORMAÇÕES ESTATÍSTICAS E DE PROJEÇÃO DA IMAGEM DO SENSOR IKONOS-2 (FUNDO), PADRONIZADA DE ACORDO COM OS PROCEDIMENTOS PROPOSTOS.

Após esses procedimentos, a imagem está pronta para o processo de classificação. Trabalhou-se com a imagem padronizada concomitantemente com a imagem da fusão MSPan, que apresentam resolução espacial de 1m e resolução radiométrica máxima (11 bits). Essa imagem serviu de referência para identificação das feições no terreno, exemplificadas nas Figuras 32 e 33.

a. Imagem - fusão MS padronizada. b. Imagem - fusão MSPan.

FIGURA 32 - IMAGEM IKONOS-2, COM RECORTE DA AOI. IMAGEM PADRONIZADA (A) E IMAGEM DE REFERENCIA, FUSÃO MSPAN (B), AMBAS COM COMPOSIÇÃO RGB, 1,2 E 3.

a. Imagem - fusão MS padronizada. b. Imagem – fusão MSPan.

FIGURA 33 - DETALHE DAS IMAGENS “LINKADAS”, REFERENTE À IMAGEM IKONOS-2. IMAGEM PADRONIZADA (A) E ORIGINAL (B). COMPOSIÇÃO RGB, 1, 2 3.

Para iniciar o processo de classificação supervisionada, definiu-se um conjunto de amostras de treinamento (assinaturas espectrais) representativas de cada classe de uso e cobertura das terras identificadas na imagem. Esse processo exige um conhecimento da área em estudo, seja teórico (conhecimento do comportamento espectral dos alvos) ou prático, obtido em inspeções a campo, em

mapas, análise de fotografias aéreas ou imagens de alta resolução (NOVO, 1992; RICHARDS, 1986).

É conveniente evitar, durante a coleta de amostra de treinamento, áreas com alta probabilidade de confusão espectral, sobrepondo informações de diferentes classes de uso. Um bom exemplo compreende regiões próximas à fronteira entre feições distintas de uso e coberturas das terras identificadas na imagem.

O programa *ERDAS Imagine* disponibiliza várias ferramentas para o processo de coleta de amostras de treinamento e delimitação de áreas representativas. Elas podem ser definidas por polígonos, elipses, retângulos ou “crescimento de regiões”.

Utilizou-se a opção de “crescimento de regiões”. Esta opção facilita a coleta de amostras e, principalmente, o controle dos níveis de cinza de uma amostra a ser coletada. A ferramenta "crescimento de região" determina quais *pixels* possuem valores similares a um determinado *pixel* central. O analista escolhe o *pixel* central que deve representar a classe a qual se quer obter uma amostra de treinamento e o programa agrega *pixels* adjacentes com valores similares seguindo regras de configurações estabelecidas.

Foram definidas e capturadas várias amostras de treinamento para uma mesma classe em diferentes locais dentro da cena. Na Figura 34, se observa várias amostras representativas para Solo Exposto (classes 1 a 8). É melhor um conjunto de 20 amostras em locais diferentes com 40 pixels do que apenas uma única amostra em um único local contendo 800 pixels (QUARTAROLI; BATISTELLA, 2006).

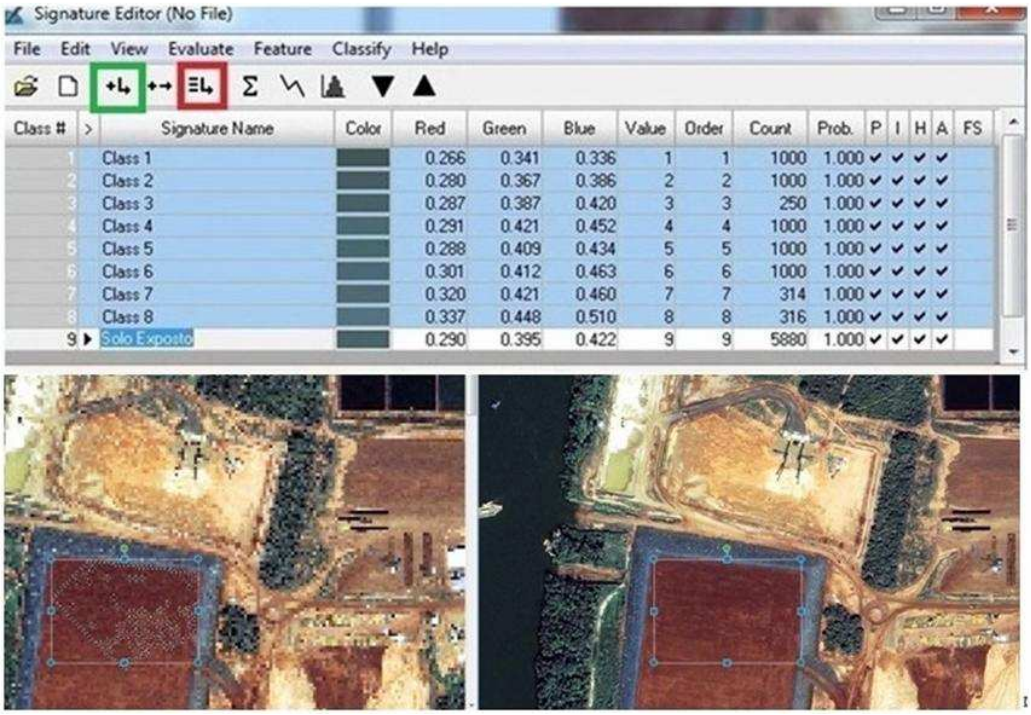
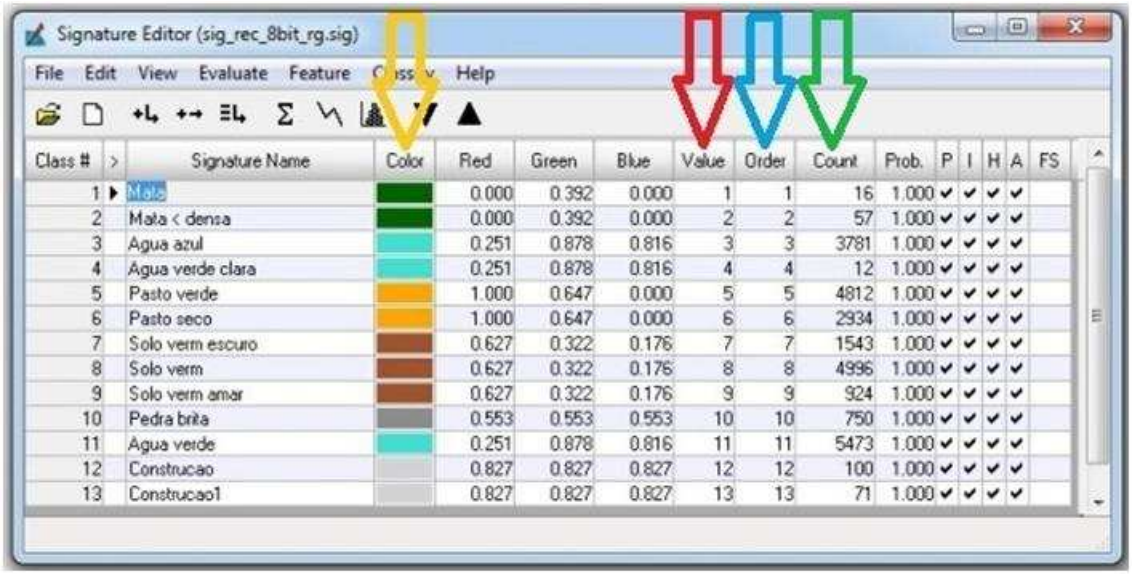


FIGURA 34 - CAIXA DE EDITOR DE ASSINATURA (SIGNATURE EDITOR) ABERTO, MOSTRANDO ALGUMAS AMOSTRAS COLETADAS NA IMAGEM (SOLO EXPOSTO), COM “REGIÃO DE CRESCIMENTO” SELECIONADA.

As várias amostras de treinamento definidas para uma mesma classe espectral devem ser coletadas e inseridas no programa, separadamente. O programa *ERDAS Imagine* trata-as inicialmente como se fossem de classes diferentes. A qualquer momento, pode-se agrupá-las em uma única assinatura representativa para a classe.

As assinaturas foram estratificadas em várias “subclasses” de acordo com as características apresentadas na imagem. Um bom exemplo refere-se à classe de solo exposto. Identificou-se visualmente na imagem mais de uma tonalidade de cor para essa mesma classe (solo marrom escuro, marrom claro, amarelo). Assim, foi válido diferenciá-las promovendo a coleta de amostras de treinamento separadamente e somente unificadas após o processamento da classificação.

Na Figura 35, o quadro de assinaturas apresentado contém várias classes agrupadas conforme descrito. Verifica-se uma mesma classe identificada por varias “subclasses”. Exemplo: Solo (Solo vermelho escuro, Solo vermelho e Solo vermelho amarelo), Mata (Mata e Mata < densa), Água estratificada em três “subclasses” e assim por diante.



Class #	Signature Name	Color	Red	Green	Blue	Value	Order	Count	Prob.	P	I	H	A	FS
1	Mata		0.000	0.392	0.000	1	1	16	1.000	✔	✔	✔	✔	
2	Mata < densa		0.000	0.392	0.000	2	2	57	1.000	✔	✔	✔	✔	
3	Agua azul		0.251	0.878	0.816	3	3	3781	1.000	✔	✔	✔	✔	
4	Agua verde clara		0.251	0.878	0.816	4	4	12	1.000	✔	✔	✔	✔	
5	Pasto verde		1.000	0.647	0.000	5	5	4812	1.000	✔	✔	✔	✔	
6	Pasto seco		1.000	0.647	0.000	6	6	2934	1.000	✔	✔	✔	✔	
7	Solo verm escuro		0.627	0.322	0.176	7	7	1543	1.000	✔	✔	✔	✔	
8	Solo verm		0.627	0.322	0.176	8	8	4996	1.000	✔	✔	✔	✔	
9	Solo verm amar		0.627	0.322	0.176	9	9	924	1.000	✔	✔	✔	✔	
10	Pedra brita		0.553	0.553	0.553	10	10	750	1.000	✔	✔	✔	✔	
11	Agua verde		0.251	0.878	0.816	11	11	5473	1.000	✔	✔	✔	✔	
12	Construcao		0.827	0.827	0.827	12	12	100	1.000	✔	✔	✔	✔	
13	Construcao1		0.827	0.827	0.827	13	13	71	1.000	✔	✔	✔	✔	

FIGURA 35 - CAIXA *SIGNATURE EDITOR*, COM VARIAS AMOSTRAS DE ASSINATURA EDITADA E AGRUPADAS.

Após a introdução de todas as assinaturas, verificou-se o número de *pixels* de cada assinatura para representar a classe (seta verde, Figura 9). Esses algoritmos auxiliam a avaliação da separabilidade das assinaturas e o processo de classificação. Estatisticamente, há uma exigência no número de *pixels* a ser considerado para o processo, contudo, na prática, quanto maior o tamanho melhor a representação estatística da classe espectral (QUARTAROLI; BATISTELLA, 2006). Segundo Lillesand *et al.* (2004) citados por Quartaroli e Batistella (2006) o ideal é utilizar um valor entre 10N e 100N de *pixels* para compor uma assinatura, onde N representa o número de bandas da imagem. Como o sensor utilizado na exemplificação trabalha com 4 bandas (Ikonos-2), recomenda-se, utilizar para cada assinatura um número entre 40 a 400 *pixels* no mínimo.

As assinaturas identificadas como Mata e Água verde clara (linha 1 e 4 respectivamente) na Figura 35, mostram valores menores ao recomendado. Portanto, retornou-se ao processo de coleta de amostras, agregando novas amostras de treinamento a essas assinaturas.

Outra atribuição efetuada na caixa *Signature Editor*, refere-se ao valor (*Value*) e ordem (*Order*), seta vermelha e azul, respectivamente (Figura 35). A organização sequencial dos valores atribuídos (por linha) é de grande valia após o processo de classificação, já que, cada classe identificada assume os valores definidos nesse quadro e na ordem apresentada.

Verificou-se ainda na coluna “I” do quadro *Signature Editor* se as linhas correspondentes a cada assinatura estão selecionadas (✓). Isso significa que a matriz de covariância da assinatura pode ser invertida, condição necessária para usar as funções de divergência e máxima verossimilhança.

Outra ação interessante refere-se à alteração da cor atribuída automaticamente às amostras (Figura 35, seta amarela). Clicou-se com o botão direito do *mouse* sobre a célula com a cor atribuída automaticamente pelo programa *ERDAS Imagine* às classes e as modificou para uma nova cor disponibilizada no *menu* de palheta de cores. Escolheu-se cores contrastantes para cada classe (nível de medida, de representação cartográfica, nominal) e facilitou sua visualização após a classificação.

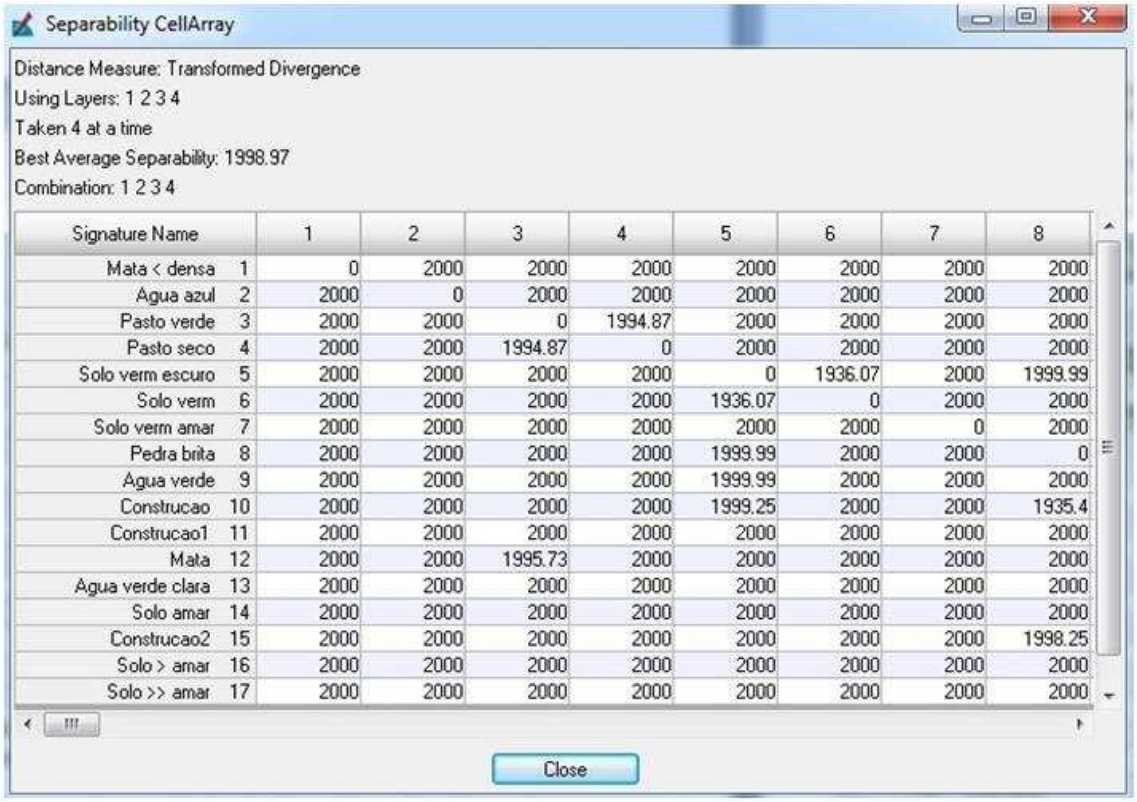
Ao finalizar o processo de coleta de amostras de treinamento, foi importante realizar a verificação da confusão espectral atribuída às assinaturas editadas, através da avaliação da separabilidade das assinaturas.

A separabilidade das assinaturas é uma medida estatística da distância espectral entre duas assinaturas (ERDAS IMAGINE, 2010). Esta distância determina o quão distintas são as assinaturas das classes definidas uma das outras. Este comando pode também determinar o melhor conjunto de camadas (bandas) para uso na classificação.

Há quatro métodos disponíveis no *ERDAS Imagine* para a avaliação da separabilidade das assinaturas. O método utilizado foi o da divergência transformada (*Transformed Divergence*). Informações sobre os outros métodos estão no ERDAS *Guide 2010,* ou ao clicar *Help* na caixa *Signature Separability*.

De acordo com Jensen (1996) citado por ERDAS IMAGINE (2010), a divergência transformada (*Transformed Divergence*) estima um peso exponencialmente decrescente para aumentar as distâncias entre as classes. A escala dos valores de divergência varia de 0 a 2000. Quanto maior o valor de divergência transformada, maior a separabilidade entre as classes. Para fins de comparação, a divergência transformada pode ser normalizada a uma faixa de variação determinada. Segundo o mesmo autor a interpretação dos resultados após a aplicação de divergência transformada sugere, como regra geral, que amostras

bem separadas apresentam resultados com valores superiores a 1900, sendo a separabilidade razoável quando os valores estão entre 1700 e 1900. Neste sentido, abaixo de 1700, a separação é ruim (possivelmente a resposta espectral das classes encaixadas nessa faixa são muito semelhantes e provavelmente o algoritmo de classificação não fará uma perfeita distinção entre elas). Evidentemente, a diagonal da matriz (referente à mesma assinatura) tem valores sempre iguais a zero (Figura 36).



Signature Name		1	2	3	4	5	6	7	8
Mata < densa	1	0	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
Agua azul	2	2000	0	2000	2000	2000	2000	2000	2000
Pasto verde	3	2000	2000	0	1994.87	2000	2000	2000	2000
Pasto seco	4	2000	2000	1994.87	0	2000	2000	2000	2000
Solo verm escuro	5	2000	2000	2000	2000	0	1936.07	2000	1999.99
Solo verm	6	2000	2000	2000	2000	1936.07	0	2000	2000
Solo verm amar	7	2000	2000	2000	2000	2000	2000	0	2000
Pedra brita	8	2000	2000	2000	2000	1999.99	2000	2000	0
Agua verde	9	2000	2000	2000	2000	1999.99	2000	2000	2000
Construcao	10	2000	2000	2000	2000	1999.25	2000	2000	1935.4
Construcao1	11	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
Mata	12	2000	2000	1995.73	2000	2000	2000	2000	2000
Agua verde clara	13	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
Solo amar	14	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
Construcao2	15	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	1998.25
Solo > amar	16	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
Solo >> amar	17	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000

FIGURA 36 - PARTE DA TABELA DE MATRIZ DE SEPARABILIDADE DAS ASSINATURAS, GERADA A PARTIR DAS DISTÂNCIAS CALCULADAS PELO MÉTODO DA DIVERGÊNCIA TRANSFORMADA.

O quadro com a matriz de separabilidade definiu o grau de confiabilidade das amostras coletadas (Figura 36). A tabela foi ordenada em linhas e colunas. Na coluna *Signature Name*, estão os nomes atribuídos a cada classe de assinatura seguidos de um número correspondente à linha ocupada. Número da linha idêntico ao da coluna correspondem à mesma classe. Deste modo, foi possível comparar todas as combinações possíveis entre as assinaturas coletadas. Por exemplo, a célula da linha 5 (Solo verm escuro) com a coluna 1 (correspondente à Mata < densa), apresentou o número 2000 que permitiu avaliar a separabilidade entre essas duas amostras, como bem separadas. Identificou-se, segundo interpretação de

Jensen (1996) citado por ERDAS IMAGINE (2010), valores abaixo de 1700 na matriz e verificou as possíveis causas. Sendo que, amostras de uma mesma classe, foram agrupadas em uma nova classe e para amostras de classes diferentes, verificou-se o posicionamento, sua delimitação e decidiu-se pela eliminação de uma ou ambas amostras e promoveu-se nova coleta. Nos casos onde duas amostras de uma mesma classe apresentaram separabilidade ótima, conservou-as separadas no processo de classificação, agrupando-as somente em um processo pós-classificação.

O programa *ERDAS Imagine* 10 disponibiliza algumas outras ferramentas para avaliar a separabilidade das assinaturas. Pode-se obter simultaneamente o histograma de duas ou mais assinaturas para cada banda de uma imagem e verificar se há sobreposição. Histogramas com grande área de sobreposição indicam má separabilidade das assinaturas. Essa foi uma atribuição importante, pois alem de auxiliar na avaliação da separabilidade das amostras, ajudou verificar a contribuição de cada banda no processo de coleta e saparabilidade das amostras e em alguns casos pôde-se definir se determinada banda pode ser excluida do processo de classificação, minimizando a confusão espectral atribuida a essa banda.

Finalizado o processo de coleta e avaliação das amostras, promoveu-se a classificação sopervisionada pelo método de processamento da maxima verossimilhança.

Observou-se visualmente que a imagem processada concomitantemente com a imagem da fusão MSPan e verificou a existência de áreas com erros de classificação. Desde modo, retornou-se ao processo de coletas de amostras de assinaturas, reavaliou a separabilidades dessas novas amostras e outro processo de classificação foi gerado, identificando-o com nome diferente da versão anterior. Preservar as classificações anteriores mostrou-se produtivo, pois permitiu compará-las.

Todo esse processo foi repetido suscessivamente até que a classificação atendeu a interpretação visual do analista.

Ao abrir o arquivo gerado, verificou-se que a imagem estava muito poluída, ou seja, com muitas áreas pequenas (*pixel* isolados ou grupos pequenos de *pixel*). Foi necessário promover a generalização dessas áreas.

Umas das técnicas usadas para homogeneização de classes pós-classificação foi aplicação de filtro. Na generalização o *pixel* central assume o valor a partir, da função aplicada aos *pixels* vizinhos e da quantidade de vizinhos usado.

O *ERDAS Imagine* disponibiliza cinco funções diferentes para essa generalização: *majority* (valor predominante), *max* (valor máximo), *median* (mediana), *min* (valor mínimo) e *minority* (valor em minoria) e três janelas (*Window Size*) para definir o número de vizinhos utilizados na função de homozeneização da imagem (3 x 3 ou 5 x 5 ou 7 x 7 *pixels*). Quanto maior o número de *pixels* usados, maior a generalização. Foi usado no processo a função *majority*, considerando a janela de 3 x 3 vizinhos e o resultado apresentado na Figura 37.

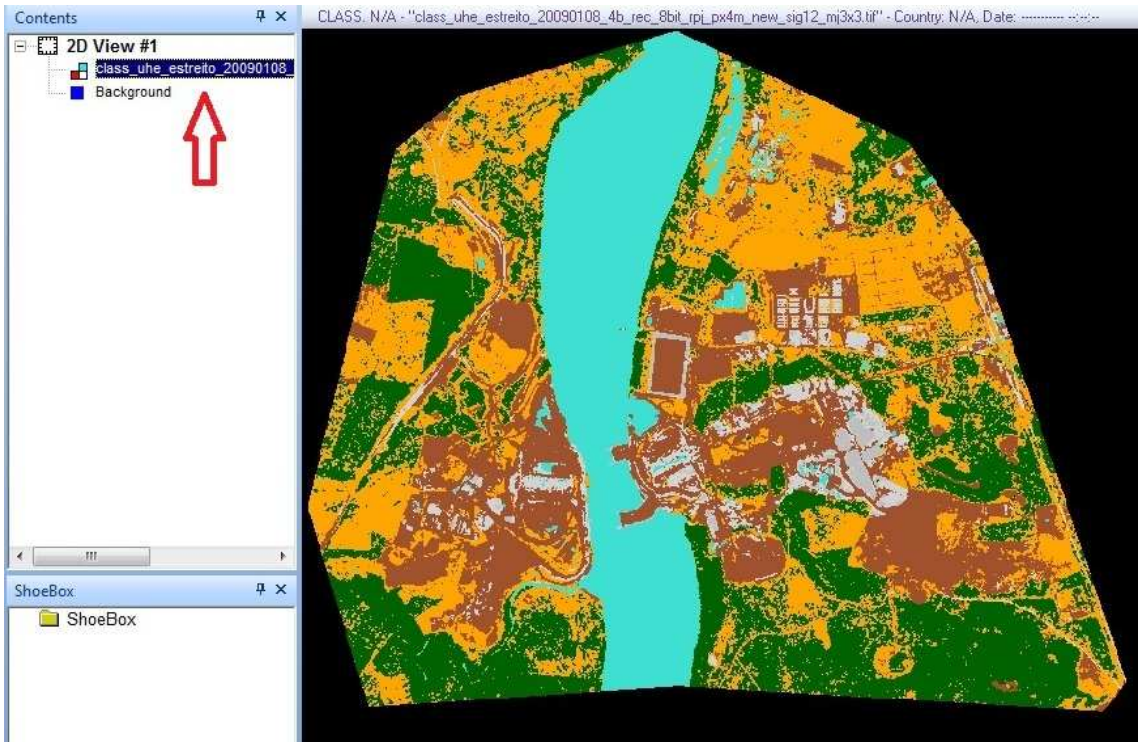


FIGURA 37 - IMAGEM CLASSIFICADA APÓS APLICAÇÃO DO FILTRO ***MAJORITY*** DEFINIDO COM JANELA DE TAMANHO 3 X 3 *PIXELS*.

Outro processo para generalizar a imagem pós-classificação, antes ou mesmo depois da filtragem proposta, é através da eliminação dos polígonos menores do que uma área pré determinada, por exemplo, 16 m^2 (representada por

um *pixel*) ou 32 m^2 (1 x 2 *pixels*) 64 m^2 (2 x 2 *pixels*), conforme a necessidade verificada pela avaliação visual da imagem classificada. No entanto, os resultados obtidos no programa *ArcGis* 9.3, para esse mesmo processo foram mais satisfatório que no programa *ERDAS Imagine 10*.

Para isso, promoveu-se a vetorização da imagem tematica classificada e gerou um arquivo vetorial (*arc coverage*) lido pelo programa *ArcGis* 9.3. No programa *ArcGis* o arquivo "*arc coverage*" foi convertido para o formato "*shapefile*" (condição necessária para controle dos comandos de eliminação do *ArcGis*). Nesse momento, promoveu-se a eliminação de todos os polígonos menores ou iguais a 16 m^2. Observou-se posteriormente a necessidade de eliminar polígonos com área diferente ao estipulado e para classes específicas.

O processo de generalização foi finalizado e prosseguiu a editoração (*layout*) do mapa de uso e cobertura das terras (Figura 38). Atribuiu-se cores correspondentes a cada classe, calculou-se as áreas de ocupação e sua representatividade, atribuídos à cada classe temática identificada no processo de classificação.

É necessário validar o resultado da classificação, comparando o mapa obtido pela classificação com dados de referência (JENSEN, 1996 citado por MOREIRA, 2009) ou verdade de campo. A relação entre as classes identificadas (Figura 38) é resumida em uma matriz de confusão (matriz de erro), ou tabela de contingência (LILLESAND; KIEFFER, 2004 citados por MOREIRA, 2009).

Considerou-se como verdade de campo as feições identificadas na imagem da fusão MSPan (máxima resolução radiométrica e espacial). Para tanto, distribuiu-se aleatoriamente 256 pontos de controle na imagem da fusão MSPan, onde foi identificado visualmente uso (considerado como verdade de campo) e comparados aos valores que representam as classes temáticas da imagem classificada atribuídas aos mesmos pontos de controle e gerou uma matriz de erro, conforme seção 4.2. Também foi utilizado relatório fotográfico feito pelo exercito brasileiro.

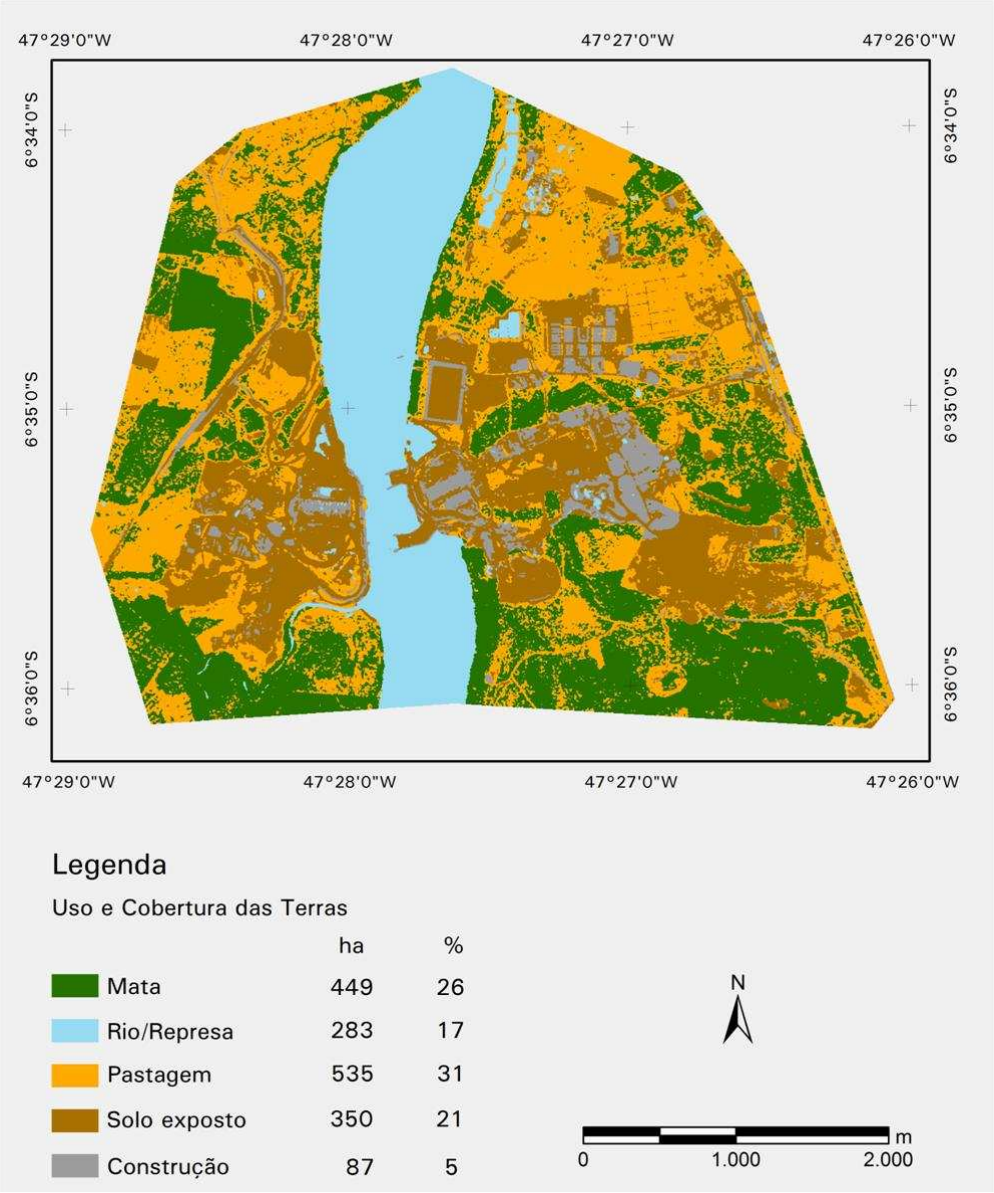


FIGURA 38 - MAPA DE USO E COBERTURA, CLASSIFICADO A PARTIR DA IMAGEM IKONOS-2, REFERENTE À UMA USINA HIDROELÉTRICA, DATADA DE 08 DE JANEIRO DE 2009.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir são apresentados os resultados das etapas deste projeto.

4.1 Visualização de Grande Quantidade de Imagens Orbitais Através de um *webmapping e* Cadastro e Gestão de Metadados de Obras de Infraestrutura e Imagens de Satélite do Projeto PAC 10

As informações cadastradas pertencentes as imagens de satélite podem ser visualizadas por meio de *web services*, neste caso, as possibilidades de processamento de dados são limitadas em comparação com programas *Desktop-GIS*, porém uma importante vantagem está no acesso por meio de um *webmapping*, uma interface própria e específica e que permite uma ligação direta entre os metadados e a visualização de dados geoespaciais.

A organização hierárquica proposta ajuda na pesquisa das imagens de satélite adquiridas pela Embrapa Monitoramento por Satélite. À medida que novas imagens forem inseridas no banco de dados, já estarão organizadas em uma estrutura lógica, sem prejudicar a busca pelas imagens antigas cadastradas.

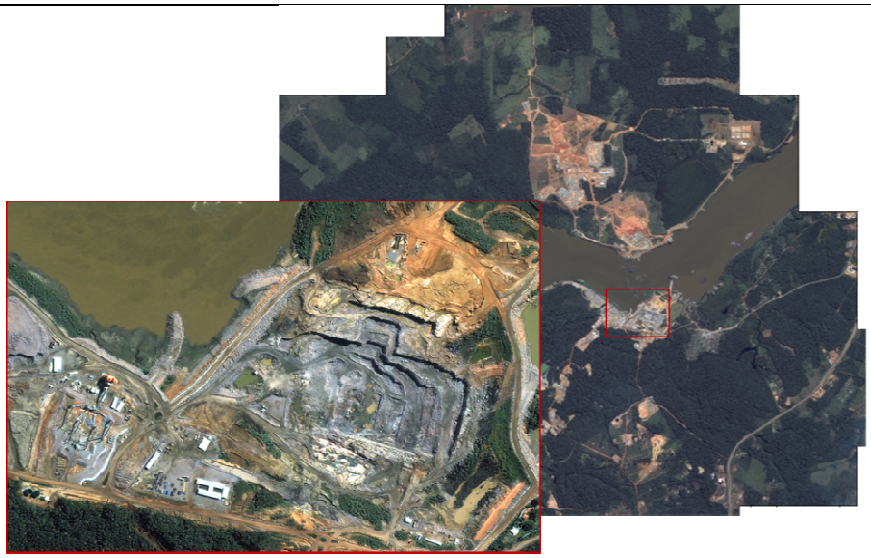
A interface mostrada na Figura 39, por ser intuitiva, permite aos clientes do projeto o gerenciamento e a interpretação das imagens de satélite proporcionando maior produtividade nas interpretações das imagens e consequentemente satisfação ao usuário.

Web services baseados em GIS do *ArcGis Server* em conjunto com a tecnologia *Flex* e *o ArcGIS API for Flex*, permite a criação de *Rich Internet Applications* (*RIA*) o que proporciona ao utilizador mais possibilidades de interação via *web*.

FIGURA 39 - MODELO DA INTERFACE.

A seguir é ilustrado um exemplo de uma obra em momentos distintos da sua fase de implantação, mostrado na Tabela 7. O exemplo utilizado se refere a usina hidrelétrica (UHE) de Santo Antônio situada no rio madeira, município de Porto Velho no estado de Rondônia. Neste exemplo o intervalo entre as imagens ficou em torno de 1 ano, mas existem mais imagens em períodos intermediários. É possível visualizar algumas alterações na área em destaque o que comprova a eficácia em um monitoramento temporal via satélite visando acompanhar a dinâmica de grandes obras. A alteração se refere à remoção de rocha da área que originalmente era uma ilha e passou a ser o local de implantação da casa de força da UHE.

TABELA 7 - EXEMPLO DE IMAGENS DE UMA OBRA

Fase da Obra	Imagem
Sem intervenção. Imagem Ikonos-2 tomada em 07 de junho de 2008.	
Intervenção avançada. Imagem Ikonos-2 tomada em 05 de julho de 2009.	
Ultima imagem adquirida. Imagem Worldview-2 tomada em 24 de agosto de 2010.	

Além da interface *webmapping*, foi criada também a interface de cadastro dos metadados das obras e imagens. Esta ferramenta mostrou-se adequada para a gestão de metadados de obras de infraestrutura e imagens de satélite do projeto PAC 10. Outro passo importante foi definir um modelo Entidade Relacionamento para grandes projetos que envolvam imagens de satélites e seus metadados.

4.2 Método de Extração de Informações Para Monitoramento Espaço-temporal de Grandes Obras de Infraestrutura a partir da Aplicação do Algoritmo da Máxima Verossimilhança em Imagens de Satélite

A matriz de erros (Tabela 8) apresenta a tabulação cruzada entre os planos de informação referentes à interpretação visual da imagem da fusão MSPan do Ikonos-2 considerada como verdade de campo (pixels de referência) e pela classificação supervisionada (linhas). Ela identifica o erro global da classificação para cada classe temática e expõe como se deram os conflitos entre elas (BRITES, 1996), mas principalmente, exibe os *pixels* classificados corretamente na diagonal principal (azul), a exatidão do produtor e do usuário, inversamente proporcionais respectivamente aos erros de omissão e inclusão.

A exatidão do usuário indica a probabilidade de um *pixel* classificado dentro de uma determinada classe realmente pertencer àquela classe. A exatidão do produtor indica se os *pixels* de referência de determinada classe estão classificados corretamente.

Os erros de omissão acontecem quando determinada feição que deveria ser classificada em uma dada classe temática é classificada como pertencente à outra classe. Erros de inclusão surgem quando uma feição é classificada como uma classe temática não correspondente a classe esperada (LEÃO et al., 2007).

TABELA 8 - MATRIZ DE CONFUSÃO, EM VALORES ABSOLUTOS, PARA COMPARAÇÃO ENTRE A CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA (CLASSES) E VERDADE DE CAMPO (REFERENCIA, IMAGEM DA FUSÃO MSPAN) DO SATÉLITE DE ALTA RESOLUÇÃO IKONOS II.

	Pixels de Referencia = 256 (*pixels*)						Exatidão	Erro de
Classes	Mata	Rio/Represa	Pastagem	Solo exposto	Construção	Total/linha	Usuario*	Inclusão*
Mata	59	-	4	-	-	63	94	6
Rio/Represa	-	44	-	1	-	45	98	2
Pastagem	6	-	55	10	-	71	77	23
Solo exposto	-	-	1	49	2	52	94	6
Construção	-	-	-	2	23	25	92	8
Total/coluna	65	44	60	62	25	230		
Exatidão Produtor*	91	100	92	79	92			
Erro de Omissão*	9	0	8	21	8			

* valores expressos em porcentagem (%)

Exatidão da classificação geral = 90 %

Imagem de referencia (verdade de campo)
Imagem a ser avaliada
Linhas marginais
Colunas marginais
Diagonal - pixels classificados corretamente
Somatorio da diagonal - total de pixels classificados corretamente

Na Tabela 8 observa-se que ao analisar a primeira linha referente à classe Mata, do total de 63 *pixels* avaliados 59 foram classificados corretamente e 4 erroneamente, podendo afirmar que pertencem a outra classe (Pastagem), configurando neste caso o erro de inclusão.

A avaliação da coluna para a mesma classe (Mata) indica que 6 *pixels* pertencentes a esta classe (verdade de campo) foram classificados como pertencente a outra classe, configurando erro de omissão e assim sucessivamente para cada classe temática. Em geral, as classes identificadas como Pastagem e Solo Exposto apresentaram os maiores conflitos entre si. No entanto, a exatidão da classificação geral atingiu um alto índice (90%) de acerto, atribuído ao total de *pixels* classificados corretamente (amarelo), que representa a somatória da diagonal principal, em relação ao total de *pixels* avaliados (256).

No entanto, Colgaton (1991) citado por Moreira (2009) e Gong e Howard (1990) citados por Brites (1996), sugerem o uso do coeficiente kappa (K) como um dos procedimentos mais utilizados e satisfatórios para mensurar a exatidão das classificações temáticas, pelo fato de analisar toda a matriz de confusão no seu cálculo, e considerar também os elementos de fora da diagonal principal, ou seja, as

discordâncias da classificação. Enquanto a exatidão global utiliza somente os elementos diagonais (concordância real).

Os valores do índice Kappa para as imagens Ikonos-2 e gerados pelo programa *ERDAS Imagine 10*, para o processo de classificação supervisionada, foi considerado o algoritmo de máxima verossimilhança, apresentados na Tabela 9.

Sabe-se que o coeficiente de Kappa expressa a concordância entre os valores reais (verdade de campo) versus o estimado (classificação) e avalia o erro gerado pelo processo de classificação devido ao acaso. Neste caso, o valor de 0,84 atingido pelo índice de Kappa Geral em estudo (Tabela 9) implica que o processo de classificação está evitando 84% dos erros que uma classificação completamente ao acaso geraria. Esse índice pode variar de –1 (discordância completa) a +1 (concordância completa). No entanto, não há definição precisa dos níveis de concordância aceitáveis.

TABELA 9 - VALORES DO ÍNDICE KAPPA INDIVIDUAL E GLOBAL PARA AS IMAGENS IKONOS II E MÉTODO DE CLASSIFICAÇÃO DA MÁXIMA VEROSSIMILHANÇA

Classes	**Índice Kappa**
Mata	0,91
Rio/Represa	0,97
Pastagem	0,71
Solo exposto	0,92
Construção	0,91
Índice de Kappa Geral = 0,84	

Para avaliar o índice Kappa foi utilizada a Tabela 10, adaptado de Galparsoro e Fernández (2001). De acordo com os parâmetros adotados para avaliar os índices de Kappa, a imagem temática (classificada) gerada pelo método descrito, apresentou em geral ótimos resultados com concordância muito boa. Apenas a classe caracterizada como pastagem apresentou uma concordância relativamente mais baixa (0,71) se comparada a outras classes, ainda assim considerada como de boa concordância, conforme Tabela 10.

TABELA 10 - VALOR PARA AVALIAR O GRAU DE CONCORDÂNCIA A PARTIR DO ÍNDICE KAPPA

Valor do Kappa	**Concordância**
< 0,20	Pobre
0,21 - 0,40	Fraca
0,41 - 0,60	Moderada
0,61 - 0,80	Boa
0,81 - 1,00	Muito boa

FONTE: Adaptado de Galparsoro e Fernández (2001).

Definido o procedimento para a classificação das imagens teve início uma comparação temporal das obras. Para maiores detalhes dos procedimentos de classificação adotados recomenda-se consultar Martinho et al. (2010). A seguir tem-se um exemplo de classificação visando analisar a dinâmica de uma obra. Foi utilizada a UHE de Estreito situada na divisa dos estados do Maranhão e Tocantins. Nesta análise foram utilizadas 5 imagens orbitais tomadas entre 2005 e 2010, como mostrado na Tabela 11.

TABELA 11 - IMAGENS UTILIZADAS PARA A COMPARAÇÃO TEMPORAL DA UHE ESTREITO.

Satélite	**Data da tomada da cena**
Quickbird	30 de outubro de 2005
Ikonos-2	08 de janeiro de 2009
Ikonos-2	17 de novembro de 2009
Worldview-2	19 de maio de 2010
Quickbird	30 de setembro de 2010

As imagens foram ordenadas cronologicamente, a primeira data de 30 de outubro de 2005 (Figura 40 do satélite Quickbird e mostra a região de implantação da obra antes da intervenção do empreendimento.

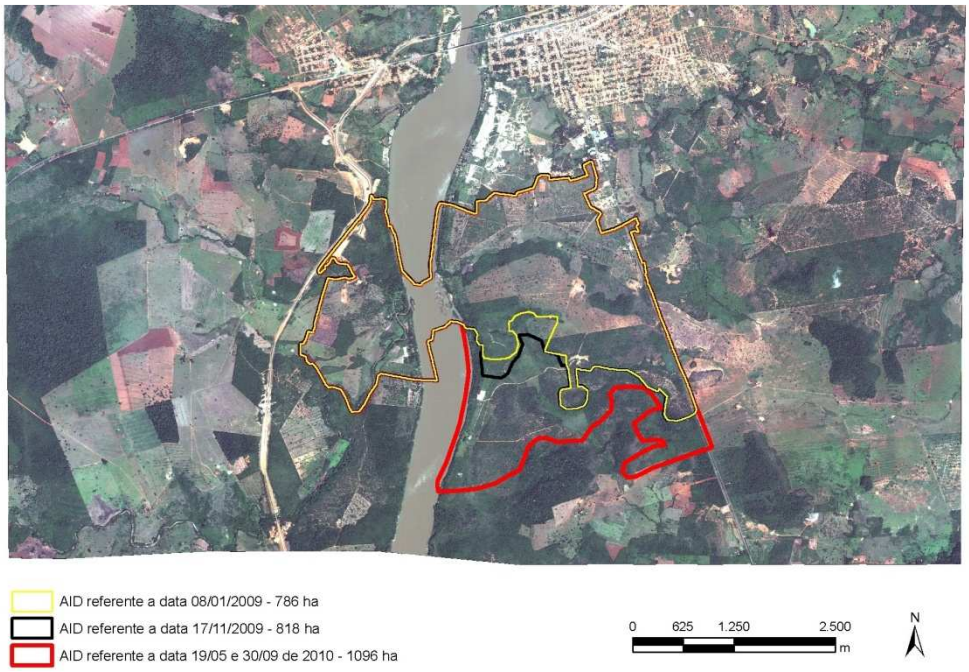


FIGURA 40 - IMAGEM QUICKBIRD DE 30 DE OUTUBRO DE 2005

As áreas delimitadas em vermelho, preto e amarelo mostram o avanço na area de influencia direta (AID) ao longo do tempo, Figura 40.

A Figura 41 ilustra os dados obtidos, com a classificação, para 6 classes: vegetação verde (mata), rio/represa, pasto/grama, solo exposto, construção, pedra/asfalto. Estas classes poderiam ser mais detalhadas e utilizar termos técnicos mais adequados, porém foram determinadas com previsão a atender usuários leigos.

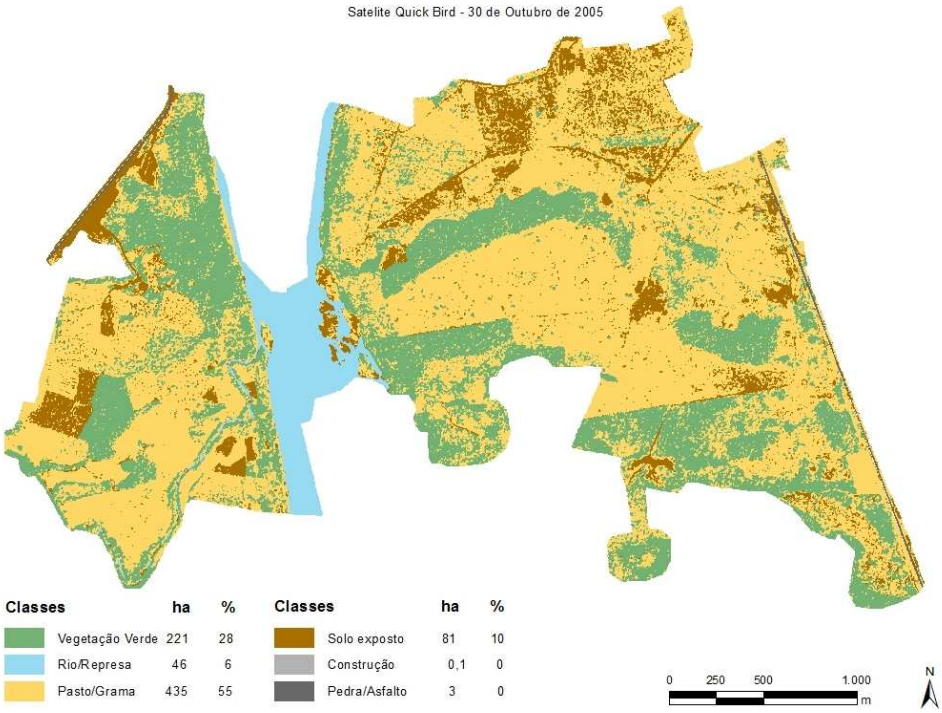


FIGURA 41 - CLASSIFICAÇÃO E COBERTURA DAS TERRAS DA IMAGEM QUICKBIRD DE 30 DE OUTUBRO DE 2005.

Todas as ilustrações (figuras e tabela) mostram os dados quantitativos em hectares (ha) e em porcentagens de ocupação referentes à área de influência direta (AID).

O mesmo procedimento de classificação e cálculo das áreas para cada uma das 6 classes foi adotado em todas as imagens desta obra. A data da tomada da imagem mais recente é de 30 de setembro de 2010 (imagem Quickbird com resolução espacial de 0,6m).

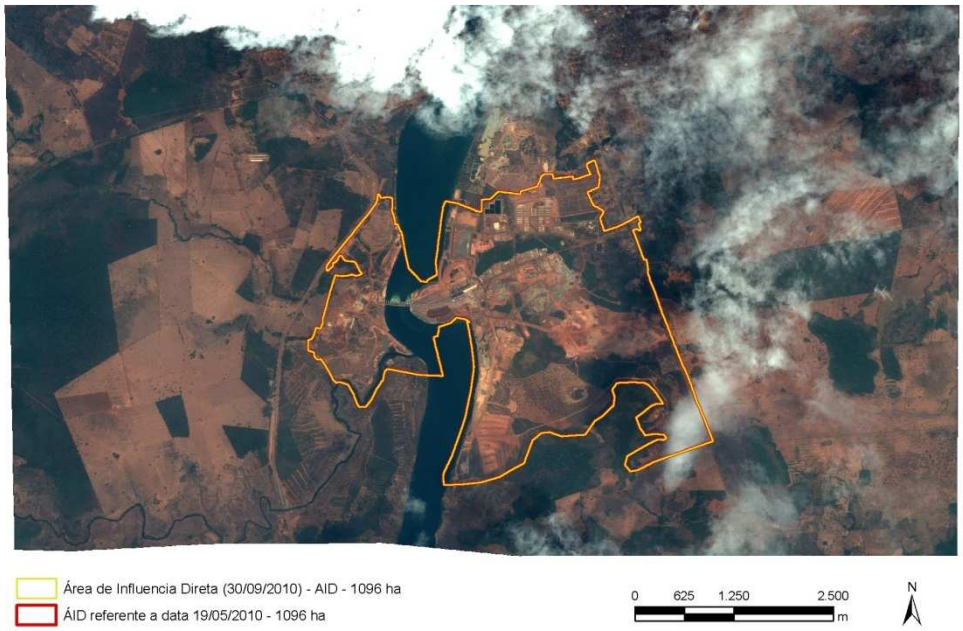


FIGURA 42 - IMAGEM QUICKBIRD DE 30 DE SETEMBRO DE 2010.

O resultado da classificação para a imagem Quickbird de 30 de setembro de 2010 é mostrado na Figura 43. Percebe-se que houve uma grande alteração na AID da implantação da obra onde a classe “Pasto/Grama” teve decréscimo de área enquanto a classe ”Solo exposto” teve um acréscimo.

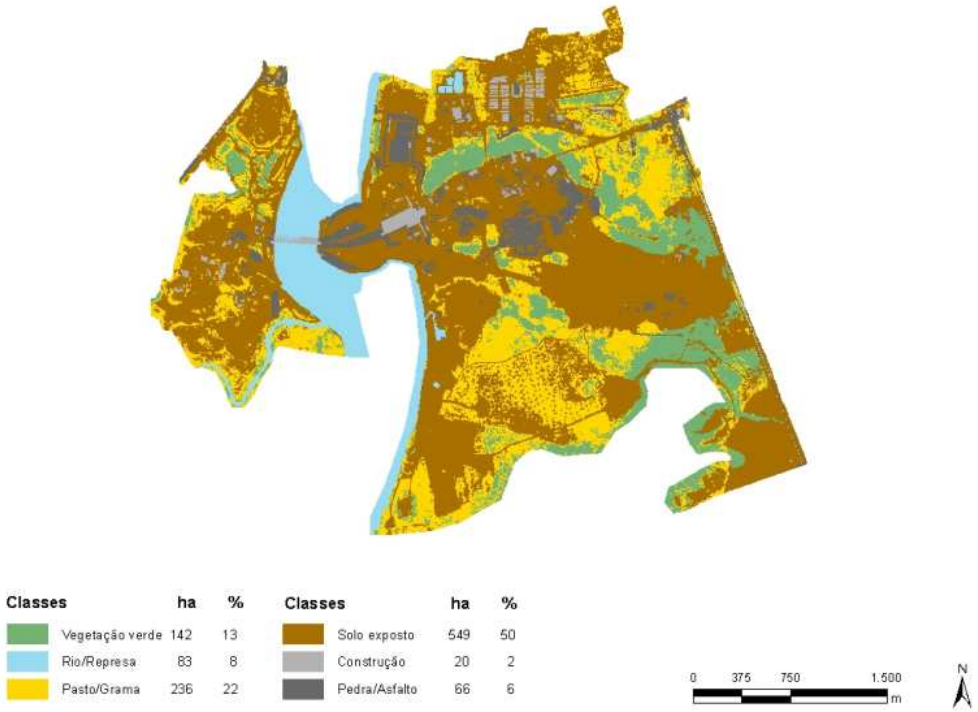


FIGURA 43 - CLASSIFICAÇÃO E COBERTURA DAS TERRAS DA IMAGEM QUICKBIRD DE 30 DE SETEMBRO DE 2010.

A Tabela 12 mostra os valores, em hectares (ha), da dinâmica das ocupações das terras na área de influencia direta (AID) da obra. Percebe-se que houve um acréscimo na AID entre janeiro e novembro de 2009 (de 787 ha para 818 ha), e um novo aumento para maio de 2010 (1096 ha). Esses valores refletem a área de intervenção da implantação da obra e o ritmo de implantação da obra.

TABELA 12 - DINÂMICA DE EVOLUÇÃO DAS OCUPAÇÃOS DAS TERRAS NA ÁREA DE INFLUENCIA DIRETA (AID) DA OBRA.

AID - UHE Estreito - TO					
Uso\Ano	out/05	jan/09	nov/09	mai/10	set/10
	Área (ha)				
Vegetação verde	221	154	223	256	142
Rio/Represa	46	47	74	86	83
Pasto/Grama	435	125	101	260	236
Solo exposto	81	383	320	401	549
Construção	0	16	18	19	20
Pedra/Asfalto	3	61	82	74	66
TOTAL	786	786	818	1.096	1.096

A Figura 44 mostra um gráfico com a dinâmica de evolução das ocupações das terras na AID da obra.

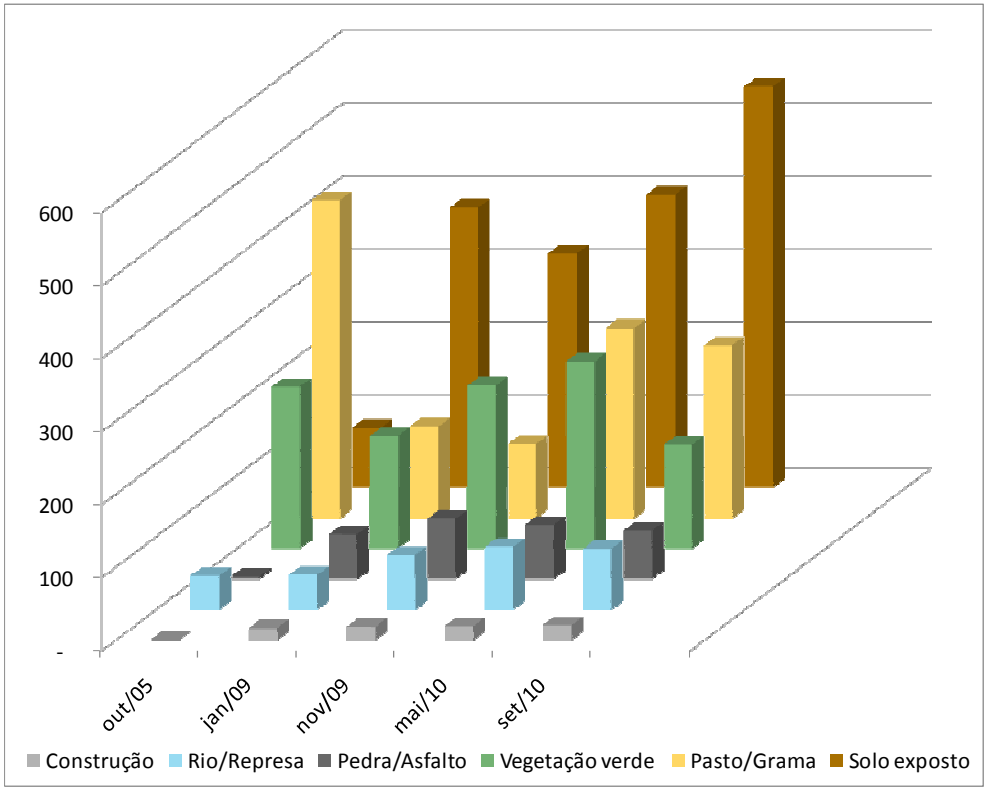


FIGURA 44 - GRÁFICO COM A DINÂMICA DE EVOLUÇÃO DAS OCUPAÇÃOS DAS TERRAS NA ÁREA DE INFLUENCIA DIRETA (AID) DA OBRA.

Observou-se que no gráfico da Figura 44 há uma diferença evidente na ocupação de áreas com a classe “Vegetação verde” entre maio e setembro de 2010 (256 ha para 142 ha, Tabela 12) um aumento substancial na classe “Solo exposto”. Entre essas datas esta diferença sugere que as condições climáticas tiveram uma influencia na classificação ao interferir na atividade fotossintética. Com isso, as áreas classificadas como “solo exposto”, por exemplo, sofreram um aumento significativo, pois incorporaram áreas de pastagens secas e degradadas.

5. CONCLUSÕES

A estrutura de organização, das imagens de satélite, desenvolvida pela GTE tem atendido de forma coerente o projeto para o qual foi proposta, podendo ser adaptada a qualquer projeto de Sistemas de Informação Geográfica. Para que isto ocorra, primeiramente foi necessário definir uma feição/objeto de referência para cada projeto e, a partir dela, avaliar as informações que serão agregadas para que sejam padronizadas e sigam a mesma hierarquia. Neste projeto, para cada obra existia uma série de imagens orbitais ordenadas por sensor e por data da tomada das cenas. Essa estrutura pode ser aplicada em situações nas quais o monitoramento por meio do uso de imagens orbitais se faz necessário, pois permite uma atualização das imagens para uma determinada região sem comprometer o padrão de organização, facilitando a incorporação de novas imagens de satélite. A adoção de padrões é uma tendência mundial cada vez mais forte devido a demanda por informação espacializada e disponível segundo normas nacionais e internacionais. Para organizar dados e informações de qualquer projeto em um banco de dados geográficos, é interessante usar padrões de normatização como os encontrados na ISO 19115:2003 e que as normas brasileiras em implantação pela CONCAR sejam respeitadas.

O sistema conta hoje com uma ferramenta para o cadastro e gestão de metadados de obras de infraestrutura e imagens de satélite do projeto PAC 10. Esta ferramenta foi projetada para ser adaptável a outros projetos de pesquisa da área de Gestão Territorial Estratégica e da Embrapa Monitoramento por Satélite como um todo, bem como das instituições parceiras do Projeto PAC 10. O cadastro de imagens, satélites, níveis de definição, preço de compra, fornecedores e cliente são genéricos e podem facilmente se adaptar a projetos que necessitem a gestão de dados geoespaciais.

A utilização de uma interface interativa, através da tecnologia do *webmapping* possibilitou o monitoramento das obras de uma forma simplificada e eficiente, por ser uma ferramenta simples e funcional, atendendo as necessidades da Presidência da República, da casa Casa Civil, do Gabinete de Segurança Institucional da Presidência da República e do Ministério do Planejamento.

A interface desenvolvida vem sendo aplicada no projeto PAC 10 e pode ser utilizada em situações nas quais o monitoramento, por meio do uso de imagens de satélite, é necessário e viável. Esta ferramenta apresenta funções simples e funcionais que servem como instrumento de visualização das imagens de satélite. Para facilitar o manuseio, alguns comandos são similares aos adotados na maioria dos programas de visualização de imagens como, por exemplo, o *Google Earth*. A interface relacionada com um banco de dados fornece uma solução apropriada para o acompanhamento da dinâmica de obras de infraestrutura. O desenvolvimento desta interface e ferramentas para análise de imagens pode ser adaptada a outras aplicações.

A padronização proposta para classificação das imagens de diferentes sensores e características minimiza a intensidade de informações disponibilizadas pelas imagens de alta resolução, e permite a comparação entre diferentes sensores.

Assim, limitar a área de influência direta e do entorno da obra, mostrou-se promissor, pois torna o processo mais ágil e preciso no processo de interpretação e classificação.

Para imagem Ikonos-2, foi obtido um índice kappa geral de 0,84 (classificada como muito boa). Apenas a classe caracterizada como “Pasto/Grama” apresentou uma concordância relativamente mais baixa (0,71) se comparada a outras classes, no entanto, ainda é considerada como uma boa classificação.

A utilização de imagens de alta resolução padronizadas como proposto juntamente com o algoritmo da máxima verossimilhança se mostraram eficientes como suporte para avaliação da ocupação das terras tomadas pelas obras (área de influência direta) e do seu entorno. Atualmente está em estudo a utilização no programa *Interimage* que utiliza o conceito de classificação orientada objetos e é de distribuição gratuita (COSTA et al., 2008).

Está em estudo a utilização de programas livres como o *gvSIG, PostgreSQL* com a extensão *PostGis, Mapserver, Geoserver, Openlayers* e o *Interimage* para avaliar as alternativas em projetos semelhantes e que não possuam os programas proprietários citados neste trabalho.

Enfim, o sistema está sendo constantemente alimentado com o cadastro de novas obras e imagens que chegam a GTE por meio da Casa Civil e do Ministério do Planejamento. Pela Internet, os usuários em Brasília podem remotamente acessar o conteúdo cadastrado e realizar consultas diversas.

6. REFERÊNCIAS

BENTZ, C. M.; POLITANO, A. T.; GENOVEZ, P. Monitoramento ambiental de áreas costeiras e oceânicas com múltiplos sensores orbitais. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 57, n. 1, p. 43-47, 2005.

BEUCHLE, R.; EVA, H. D.; HOLLER, W. A.; OSHIRO, O. T.; ACHARD, F. Global tropical forest cover change assessment with medium spatial satellite imagery using a systematic sample grid – data, methods and first results. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. (No prelo)

BRASIL. Ministério do Planejamento Orçamento e Gestão. **PAC - Programa de Aceleração do Crescimento**. Disponível em: <http://www.pac.gov.br>. Acesso em: 18 jan. 2011.

BRITES, R. S. **Verificação de exatidão em classificação de imagens digitais orbitais:** efeito de diferentes estratégias de amostragem e avaliação de índices de exatidão**.** 1996. 101 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. Disponível em: <ftp://ftp.bbt.ufv.br/teses/ciencia florestal/1996/111128f.pdf>. Acesso em: 17 ago. 2010.

CONCAR. Comissão Nacional de Cartografia. **Perfil de Metadados Geoespaciais do Brasil (Perfil MGB):** conteúdo de metadados geoespaciais emconformidade com a norma ISO 19115:2003*.* nov. 2009. Disponível em: <http://www.concar.ibge.gov.br/arquivo/Perfil_MGB_Final_v1_homologado.pdf>. Acesso em: 24 jul. 2010.

COSTA, G. A. O. P.; PINHO, C. M. D.; FEITOSA, R. Q.; ALMEIDA, C. M.; KUX, H. J. H.; FONSECA, L. M. G.; OLIVEIRA, D. A. B. INTERIMAGE: uma plataforma cognitiva open source para a interpretação automática de imagens digitais. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 60, p.331-337, 2008.

EMBRAPA. **Programa de Fortalecimento e Crescimento da Embrapa - PAC Embrapa**. Disponível em: <http://www.embrapa.gov.br/programas_e_projetos/pac-embrapa>. Acesso em: 18 jan. 2011.

ERDAS IMAGINE. **Erdas Field Guide**: manual erdas imagine 10. [S.l.]: ERDAS, 2010. Disponível em:<http://w/ww.erdas.com>. Acesso em: 20 jul. 2010.

FERREIRA, N. C. R.; ARCANJO, J. S. Panorama do sistema de aquisição, processamento, catalogação e distribuição de imagens de sensoriamento remoto do INPE. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007.

FISHER, J.; GOETZ, S. J. Considerations in the use of high spatial resolution imagery: an applications research assessment. In: AMERICAN SOCIETY FOR

PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING, 4., 2001, St. Louis. **Proceedings…** St. Louis: ASPRS, 2001. p. 8.

FLOSI, A. M. de F.; LOURENÇO, F. R.; FURTADO, A. L. dos S. Adequação e atualização do sistema de informação territorial da faixa de fronteira. In: CONGRESSO INTERINSITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 4., 2010, Campinas. **Anais...** Campinas: ITAL, 2010. 1 CD-ROM.

FONSECA, L. M. G. Processamento digital de imagens. São José dos Campos: INPE, 2000.

GALPARSORO I. L. U.; FERNÁNDEZ, S. P. Medidas de concordancia: el índice Kappa. **Caderno de Atención Primaria**, v. 6, p. 169-171, 2001. Disponível em: <http://www.fisterra.com/mbe/ investiga/kappa/kappa2.pdf>. Acesso em: 16 ago. 2010.

HOLLER, W. A.; CUSTÓDIO, D. O.; NIEMANN, R. S.; RÔVERE, S. D.; MIRANDA, E. E. de; SPADOTTO C. A. **Uma ferramenta para o cadastro e gestão de metadados de obras de infraestrutura e imagens de satélite do projeto PAC 10.** Campinas, SP: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010a. 6 p. (Comunicado Técnico, 27).

HOLLER, W. A.; CUSTÓDIO, D. O.; NIEMANN, R. S.; RÔVERE, S. D.; MIRANDA, E. E. de; SPADOTTO, C. A. **Webmapping desenvolvido em tecnologia Flex para análises e monitoramento de obras de infraestrutura.** Campinas, SP: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010b. 6 p. (Comunicado Técnico, 28).

INPE. **Relatório ano 2000-2001**: Monitoramento da floresta amazônica brasileira por satélite. Disponível em: <http://www.inpe.br/Informacoes_Eventos/amz2000_2001/>. Acesso em: 04 jan. 2011

LEÃO, C.; KRUG, L. A.; KAMPEL, M.; FONSECA, L. M. G. Avaliação de métodos de classificação em imagens TM/Landsat e CCD/CBERS para mapeamento do uso e cobertura da terra na região costeira do extremo sul da Bahia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 939-946.

MARTINHO, P. R. R.; HOLLER, W. A.; MIRANDA, E. E. de; SPADOTTO, C. A. **Método de extração de informações para monitoramento da ocupação das terras por grandes obras de infraestrutura a partir de imagens de satélite de alta resolução**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010. 21 p. (Documentos, 80).

MASUOKA, P. M.; CLABORN, D. M.; ANDRE, R. G.; NIGRO, J.; GORDON, S. W.; KLEIN, T. A.; KIM, H. C. Use of IKONOS and LANDSAT for malaria control in the Republic of Korea. **Journal Remote Sensing of Environment**, v. 88, p. 187–

194, 2003. Disponível em: <http://mason.gmu.edu/~ocarras1/ikonos%20landsat%20malaria%20korea.pdf>. Acesso em: 2 dez. 2010.

MENDONÇA, L. E. R. **Utilização de algoritmos de classificação em imagens IKONOS para mapeamento de feições terrestre:** um estudo de caso. 2006. 65 f. Tese (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. Disponível em: <http://www.tede.ufv.br>. Acesso em: 16 ago. 2010.

MONTEIRO, A. L.; SOUZA JÚNIOR, C.; BARRETO, P. Detection of logging in Amazonian transition forest using spectral mixture models. **International Journal of Remote Sensing**, v. 1, n. 24, p. 151-159, 2003.

MOREIRA, A. A.; SOARES, V. P.; GLERIANI, J. M.; RIBEIRO, C. A. A. S. Utilização de algoritmos de classificação para o mapeamento do uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do Ribeirão São Bartolomeu, Viçosa, MG, a partir de uma imagem do sensor Ikonos II. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 13., 2009. Viçosa, MG. **Anais eletrônicos.** Disponível em: <http://www.geo.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos_completos/>. Acesso em: 25 jun. 2010.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologia de aplicação**. 1. ed. São José dos Campos: INPE, 2001. 250 p.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto**: princípios e aplicações. São Paulo: Edgard Blücher, 1992. 308 p.

OGC. Open Geospatial Consortium. **OpenGIS webmapservice (WMS) Implementation Specification.** Disponível em <http://www.opengeospatial.org/standards/wms>. Acesso em: 07 out. 2010.

PORTAL BRASIL. **Gestão do PAC**. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/pac/o-pac/gestao-do-pac>. Acesso em: 18 jan. 2011.

PRADO, B. R.; BREUNIG, F. M.; PEREIRA, G.; HAYAKAWA, E. H.; ANDRADES FILHO, C. O. Comparação dos padrões de metadados geográficos ISO 19115:2003 e FGDC: avaliações a aplicabilidade para os dados digitais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 23., 2009, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa, MG: UFV, 2009. Disponível em: <http://www.geo.ufv.br/simposio/index.htm>. Acesso em: 18 jun. 2010.

PROARCO. **Programa de prevenção e controle às queimadas e incêndios florestais no Arco do Desflorestamento**. Brasília, DF: MMA, 2008. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/emergencias/wp-content/files/APRESENTA%C3%87%C3%83O%20proarco.pdf>. Acesso em: 22 jan. 2011.

QUARTAROLI, C. F.; BATISTELLA, M. **Classificação digital de imagens sensoriamento remoto:** tutorial básico. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2006. 50 p. (Documentos, 56).

READ, J.; CLARK, D. B.; VENTICINQUE, E. M.; MOREIRA, M. P. Application of merged 1-m and 4-m resolution satellite data to research and management in tropical forests. **Journal of Applied Ecology**, v. 40, p. 592-600, 2003.

RIBEIRO, R. M. P. **Avaliação de métodos de classificação de imagens IKONOS II para o mapeamento da cobertura terrestre**. 2003. 53 f. Tese (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

RICHARDS, J. A. **Remote sensing digital image analysis:** an introduction. Berlin: Springer-Verlag, 1986. 281 p.

SILBERSCHATZ, A.; KORTH, H. F.; SUDARSHAN, S. **Sistema de Banco de Dados**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.

SILVA FILHO, G.; REGIS FILHO, D.; OLIVEIRA, F. H. de. Utilização de ferramentas livres de webmapping aplicada ao planejamento territorial: estudo de caso bacia hidrográfica do rio Itacorubi. In: ENCONTRO LATINOAMERICANO DE GEÓGRAFOS – EGAL, 12., 2009, Montevideo. **Anais...** Montevideo: Egal, 2009. p. 4116.

SOUZA JÚNIOR, C.; FIRESTONE, L.; MOREIRA, L.; ROBERTS, D. Mapping forest degradation in the eastern Amazon from SPOT 4 through spectral mixture models. **Remote Sensing of Environment**, v. 87, p. 494-506, 2003.

SOUZA JÚNIOR, C.; ROBERTS, D. Mapping forest degradation in the Amazon region with IKONOS images. **International Journal of Remote Sensing**, v. 26, p. 425-229, 2005.

SUGUMARAN, R.; ZERR, D. Potential role of high-resolution satellite images in local government planning and management. In: AMERICAN SOCIETY FOR PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING, 4., 2001, St. Louis. **Proceedings...** St. Louis: ASPRS, 2001. 7 p.