

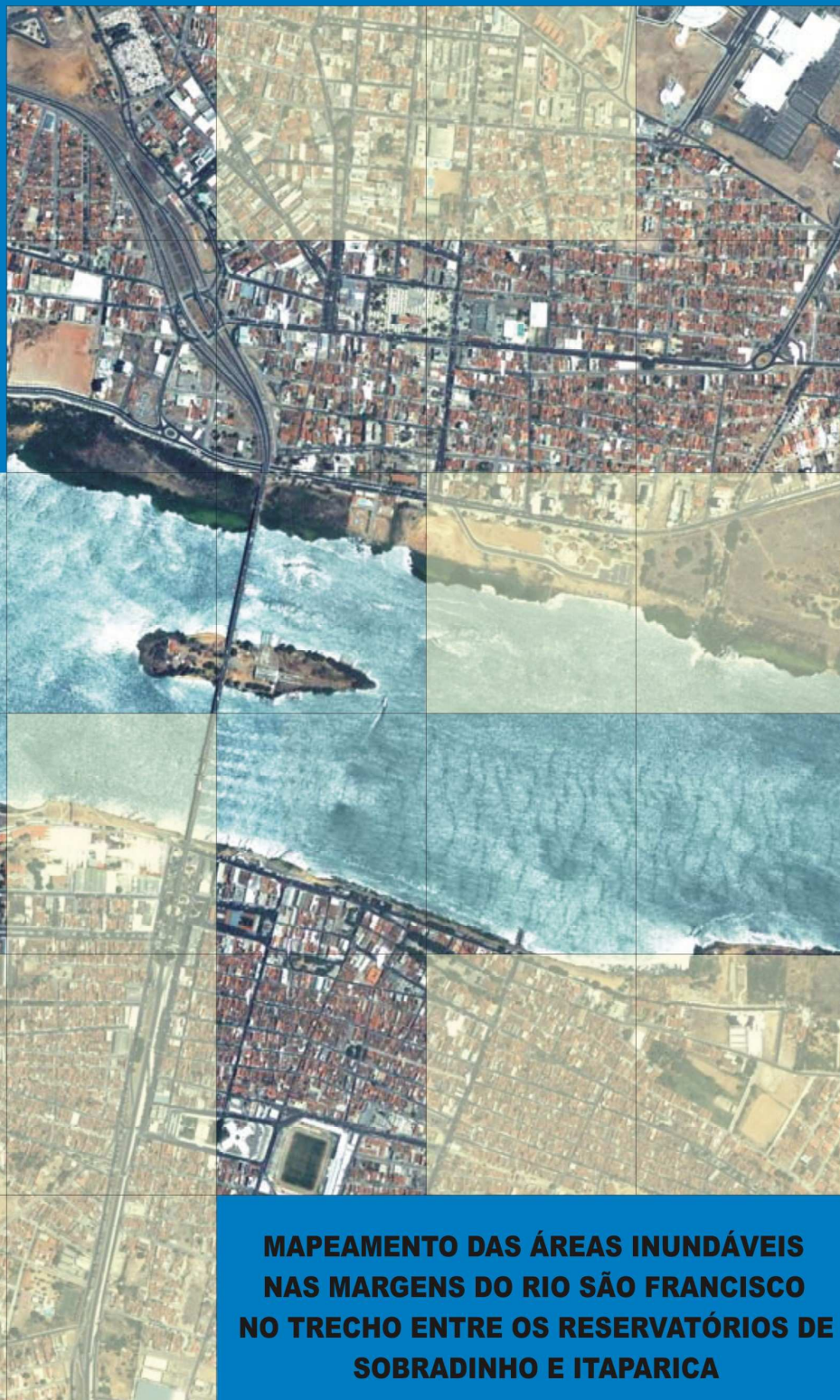
Chesf

COMPANHIA HIDRO ELÉTRICA
DO SÃO FRANCISCO



AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

**Relatório Técnico
do Plano de Trabalho
ACT 003/2008 - CHESF/ANA**



**MAPEAMENTO DAS ÁREAS INUNDÁVEIS
NAS MARGENS DO RIO SÃO FRANCISCO
NO TRECHO ENTRE OS RESERVATÓRIOS DE
SOBRADINHO E ITAPARICA**

COMPANHIA HIDRO ELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO - CHESF

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA

**MAPEAMENTO DAS ÁREAS INUNDÁVEIS NAS MARGENS DO RIO SÃO
FRANCISCO NO TRECHO ENTRE OS RESERVATÓRIOS DE
SOBRADINHO E ITAPARICA**

SETEMBRO/2008

S U M Á R I O

1. APRESENTAÇÃO

2. OBJETIVO

3. DESENVOLVIMENTO

4. METODOLOGIA

4.1. Mapeamento Regionalizado

4.1.1. Mapeamento da Linha d'Água Referente à Vazão de 2.000 m³/s

4.1.1.1.Especificação

4.1.1.2.Georeferência

4.1.1.3.Mosaicagem

4.1.1.4.Delimitação da Linha d'Água de 2.000 m³/s

4.1.1.5. Mapeamento do Uso do Solo

4.1.2. Mapeamento da Linha d'Água referente à Vazão de 6.000 m³/s

4.1.2.1.Especificação

4.1.2.2.Georeferência

4.1.2.3.Realce

4.1.2.4.Delimitação da Linha d'Água de 6.000 m³/s

4.1.3. Sobreposição das Linhas d'Água

4.2. Mapeamento Detalhado

4.2.1. Implantação da Rede Geodésica de Referência

4.2.2. Rede Geodésica de Referência

4.2.2.1.Definição

4.2.2.2.Modelo Geoidal Local

4.2.2.3.Curva Cota x Vazão

4.2.2.4.Resultados e Considerações Finais sobre a Rede Geodésica de Referência

4.2.3. Levantamento Topográfico das Linhas de Isovalor de Vazão

4.2.4. Processamento Digital da Rede de Pontos Tridimensionais

4.2.5. Mapeamento das Isolinhas de 2.000, 4.000, 6.000 e 8.000 m³/s

4.2.6. Mapeamento do Uso e Ocupação do Solo

5. CONCLUSÕES

5.1. Mapeamento Regionalizado

5.2. Mapeamento Detalhado

6. RECOMENDAÇÕES

ANEXOS

- 1. Mapa-Imagem com as Linhas d'Água Referentes aos Patamares de Vazão de 2.000 m³/s e 6.000 m³/s – Trecho Sobradinho – Itaparica - Escala 1:250.000**
- 2. Mapa-Imagem com as Linhas d'Água Referentes aos Patamares de Vazão de 2.000 m³/s e 6.000 m³/s – Trecho Sobradinho – Itaparica - Escala 1:100.000 - Articulação 01/03**
- 3. Mapa-Imagem com as Linhas d'Água Referentes aos Patamares de Vazão de 2.000 m³/s e 6.000 m³/s – Trecho Sobradinho – Itaparica - Escala 1:100.000 - Articulação 02/03**
- 4. Mapa-Imagem com as Linhas d'Água Referentes aos Patamares de Vazão de 2.000 m³/s e 6.000 m³/s – Trecho Sobradinho – Itaparica - Escala 1:100.000 - Articulação 03/03**
- 5. Uso e Ocupação do Solo com as Linhas d'Água Referentes aos Patamares de Vazão de 2.000 m³/s e 6.000 m³/s – Trecho Sobradinho – Itaparica - Escala 1:250.000**
- 6. Uso e Ocupação do Solo com as Linhas d'Água Referentes aos Patamares de Vazão de 2.000 m³/s e 6.000 m³/s – Trecho Sobradinho – Itaparica - Escala 1:100.000 - Articulação 01/03**
- 7. Uso e Ocupação do Solo com as Linhas d'Água Referentes aos Patamares de Vazão de 2.000 m³/s e 6.000 m³/s – Trecho Sobradinho – Itaparica - Escala 1:100.000 - Articulação 02/03**
- 8. Uso e Ocupação do Solo com as Linhas d'Água Referentes aos Patamares de Vazão de 2.000 m³/s e 6.000 m³/s – Trecho Sobradinho – Itaparica - Escala 1:100.000 - Articulação 03/03**
- 9. Uso e Ocupação do Solo com as Linhas d'Água Referentes aos Patamares de Vazão de 2.000, 4.000, 6.000 e 8.000 m³/s – Orla de Petrolina / PE e Juazeiro / BA - Escala 1:2.000**
- 10. Mapa-Imagem com as Linhas d'Água Referentes aos Patamares de Vazão de 1.331 m³/s e 2.100 m³/s – Balneário da Ilha do Rodeadouro - Escala 1:1.000**

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APRESENTAÇÃO

As elevações periódicas de vazão, que provocam o extravasamento das águas da calha principal do rio para suas áreas marginais, e a ocupação intensa e desordenada das várzeas inundáveis, geraram a necessidade de um conhecimento detalhado e espacializado da planície de inundação do Rio São Francisco no trecho entre Sobradinho e Itaparica.

Este relatório apresenta as atividades desenvolvidas no âmbito do **Projeto Básico de Mapeamento das Áreas Inundáveis nas Margens do Rio São Francisco, a Jusante do Reservatório de Sobradinho** até o início do reservatório de Itaparica, na cidade de Belém do São Francisco – PE, limitado a uma faixa de aproximadamente 5 km paralela ao eixo do rio.

Esse projeto é de interesse da sociedade ribeirinha do Vale do São Francisco e atende ao Compromisso de Ajuste de Conduta (CAC) estabelecido entre a Companhia Hidro Elétrica do São Francisco - CHESF e o Ministério Público Federal, através da Procuradoria da República no Município de Petrolina, em função de Ação Civil Pública nº 2007.33.05.000254-6, movida por este Ministério durante o período úmido 2006/2007.

Nele foram utilizados orientações metodológicas e produtos resultantes do Acordo de Cooperação Técnica – ACT 003/2008 firmado entre a CHESF e a Agência Nacional de Águas – ANA.

2. OBJETIVO

Foi objetivo deste trabalho mapear a área ribeirinha e a dinâmica fluvial do Rio São Francisco com uso de técnicas de geoprocessamento, processamento digital de imagens de satélite de média e alta resolução espacial e topografia de precisão.

O mapeamento foi dividido em Regionalizado, elaborado para as áreas consideradas não críticas, e Detalhado, elaborado para as áreas consideradas críticas.

Conforme explicitado no Projeto Básico, foram consideradas como áreas críticas às zonas ribeirinhas urbanas dos municípios de Juazeiro e Petrolina, com destaque para a parte ribeirinha do Angary (Juazeiro), e o Balneário da Ilha do Rodeadouro (Petrolina), localizado a aproximadamente 15 km a montante da cidade de Petrolina. Como áreas não críticas foram consideradas as zonas ribeirinhas dos municípios de Sobradinho, Juazeiro, Curaçá e Abaré, na Bahia e Petrolina, Lagoa Grande, Santa Maria da Boa Vista, Orocó, Cabrobó e Belém do São Francisco, em Pernambuco.

Desta forma, foram obtidos mapas de uso do solo e cartas-imagem com delimitação das linhas d'água para diversos níveis de vazão, quais sejam:

- a) Mapeamento Detalhado do Uso e Ocupação do Solo, utilizando imagens de alta resolução espacial (*QUICKBIRD*), dados topográficos coletados em campo e análise/compatibilização do acervo bibliográfico e fotográfico existente. A precisão cartográfica mínima utilizada foi da ordem de 0,60 m (sessenta centímetros) a 5,00 m (cinco metros).
- b) Mapeamento Regionalizado do Uso e Ocupação do Solo, utilizando imagens de média resolução espacial com precisão cartográfica mínima numa faixa de 20,00 m (vinte metros) a 45,00 m (quarenta e cinco metros) referentes aos satélites CBERS-2/CCD e RADARSAT-1, respectivamente.
- c) Delimitação das linhas d'água do rio no Mapeamento Detalhado para os níveis correspondentes às vazões de 2.000, 4.000, 6.000 e 8.000 m³/s, através de imagens de satélite de alta resolução espacial, complementada por levantamentos de campo nas localidades definidas
- d) Delimitação da linha d'água do rio no Mapeamento Regionalizado para os níveis correspondentes às vazões de 2.000 e 6.000 m³/s, através de imagens de satélite de média resolução espacial

Os resultados desse trabalho subsidiarão a adoção de medidas não-estruturais preventivas e mitigadoras para melhorar a convivência da população com o rio, haja vista que seus principais produtos são mapas com a visão espacial da região estudada e o alcance das linhas d'água para as vazões de 2.000, 4.000, 6.000 e 8.000 m³/s. Citados resultados serão divulgados através de material informativo a ser distribuído com as entidades competentes.

3. DESENVOLVIMENTO

O mapeamento foi elaborado a partir de trabalhos de reconhecimento de campo, levantamentos topográficos, utilização de mapeamentos básicos do IBGE e imagens de satélites e ainda do acervo fotográfico existente na CHESF.

No Mapeamento Regionalizado foram produzidos Mapas de Uso do Solo, com identificação de duas classes de uso: área urbana e área rural, nas escalas 1:100.000 e 1:250.000, bem como Cartas-imagem nas escalas 1:100.000 e 1:250.000, com delimitação das linhas d'água para as vazões de 2.000 e 6.000 m³/s, através da sua digitalização sobre imagens do satélite *CBERS-2/CCD* (20,00 m de resolução espacial) e do *RADARSAT-1* (30,00 m de resolução espacial). O mapeamento do Uso do Solo foi realizado pelo método da classificação supervisionada de imagens do satélite *CBERS-2/CCD*. Os softwares utilizados foram o *ARCGIS 9.1* e o *ERDAS IMAGINE 9.0*.

No Mapeamento Detalhado, elaborado para as áreas situadas nas orlas de Petrolina e Juazeiro e o Balneário da Ilha do Rodeadouro foram produzidos Mapa de Uso do Solo, respectivamente, nas escalas 1:2.000 e 1:1.000, com identificação de ruas, quadras e praças e carta-imagem, com delimitação das linhas d'água para as vazões de 2.000, 4.000, 6.000 e 8.000 m³/s,. Observa-se que no Balneário da Ilha do Rodeadouro não há ruas, bairros, igrejas, praças e, portanto, não foi levantado o Uso do Solo nessa região.

A primeira atividade realizada para o Mapeamento Detalhado foi a implantação da rede geodésica de referência, iniciada com o reconhecimento dos marcos geodésicos IBGE existentes, seguida da análise e escolha dos locais para implantação de outros marcos referenciais e auxiliares, necessários ao desenvolvimento dos trabalhos topográficos.

Foram utilizados 3 (três) receptores GPS monofrequência (L1 + C/A), sendo 02 (dois) modelo *Ashtech Promark2* e 01 (um) *TechGEO GTR-A*, que foram instalados nas 22 (vinte e duas) estações, quando foi utilizado o método Estático, com época de 5 segundos.

A etapa seguinte foi à execução do levantamento topográfico de precisão, com a utilização de Estação Total para definição da nuvem de pontos que originaram as curvas de isovalor de vazão.

O resultado desse levantamento foi processado no escritório, refinado e compatibilizado com a verdade terrestre, através da utilização de aplicativos de topografia (*Topograph 3.67*) e geoprocessamento (*ERDAS IMAGINE 9.0*, *Autocad Map 2005*), imagens de satélite de alta resolução (*QUICKBIRD*), acervo fotográfico e visitas de campo.

Ainda no Mapeamento Detalhado, para subsidiar o mapeamento de uso do solo, foram realizadas duas visitas a campo para reconhecimento da verdade terrestre, com identificação de ruas, praças, edifícios, etc. Foram utilizados, como apoio de campo, mapas obtidos junto às prefeituras de Juazeiro e Petrolina.

4. METODOLOGIA

4.1. Mapeamento Regionalizado

4.1.1. Mapeamento da Linha d'Água Referente à vazão de 2.000 m³/s

4.1.1.1. Especificação

Foram utilizadas imagens orbitais do satélite *CBERS-2/CCD* existentes no acervo da Agência Nacional de Águas (ANA), com datas de imageamento de janeiro de 2003 a agosto de 2004 e com a descarga de Sobradinho variando de 1.348 m³/s a 2.088 m³/s, conforme **Figura 01**. As cenas *CBERS* foram adquiridas do *site* do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) pela Fundação Cearense de Meteorologia e Sensoriamento Remoto (FUNCEME), com preferência por imagens com melhor qualidade de visualização dos espelhos d'água, menor cobertura de nuvem possível e data de captação mais recente. A FUNCEME realizou as etapas de restauração, geração de composição colorida, georeferenciamento e de mosaicagem.

Para cada cena solicitada foram disponibilizadas as bandas 1, 2, 3, 4 e 5, sendo efetuado *download* apenas das bandas 2, 3 e 4. Em seguida, todas as cenas *CBERS* passaram por um processo de correção do *instantaneous field-of-view* (IFOV) dos pixels, utilizando o algoritmo do INPE *Image Restoration*, executando-se o *Restau.exe* para cada banda.

A combinação das bandas foi realizada no *ERDAS IMAGINE 9.0*, com o uso do *Layer Stacks*, resultando em uma composição colorida do tipo falsa cor, ou seja, uma composição 3(R), 4(G), 2(B).

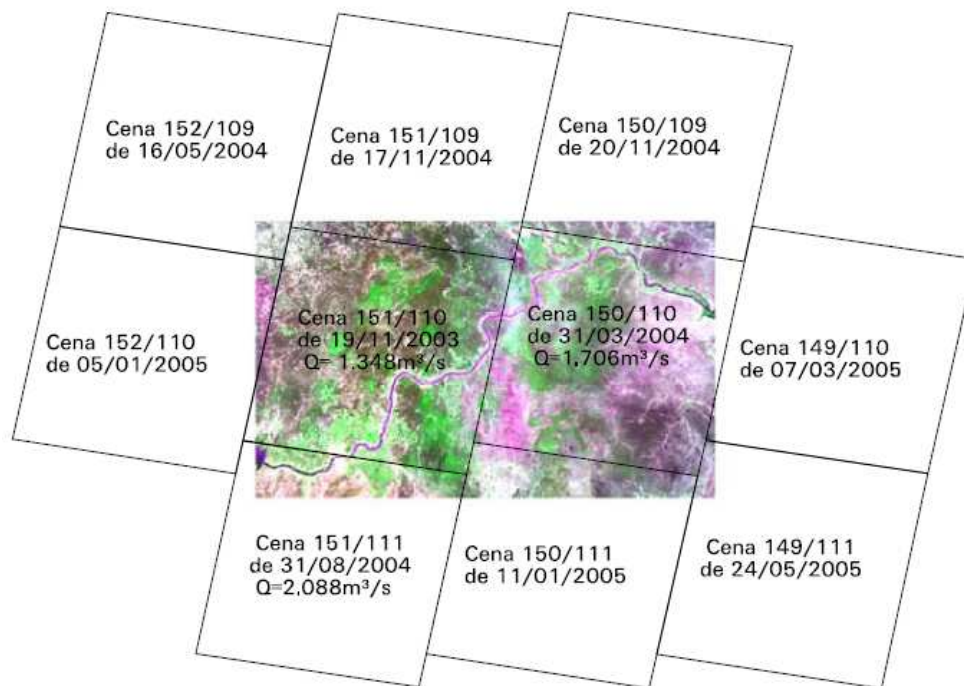


Figura 01 – Grade das cenas do Satélite *CBERS-2/CCD* utilizadas no Mapeamento da linha d'água de 2.000 m³/s e no Estudo do Uso do Solo.

4.1.1.2. Georeferência

Foram adotados como referência para o georeferenciamento, os mosaicos ortorectificados *LANDSAT TM+*, disponibilizados gratuitamente pela Universidade de *Maryland* na *Internet* (*Geocover*) e que recobrem todo o território brasileiro em folhas com recortes espaciais de 6° de longitude e 5° de latitude, com o sistema de projeção *UTM* norte e *Datum* *WGS-84*. Por esta razão, a *FUNCEME* teve que reprojetar esses mosaicos para *UTM* sul e *datum* *SAD-69*. Para este processo utilizou-se o módulo *AutoSync* no *ERDAS IMAGINE 9.0*.

Optou-se por utilizar apenas pontos inseridos manualmente, numa quantidade variando entre 8 e 10 por cena. As cenas foram retificadas, utilizando-se polinômio de 1° grau para reamostragem dos *pixels*, atingindo-se um Erro Médio Quadrático (*RMS*) sempre abaixo de 1,00 *pixel* (aproximadamente 20,00 metros). O interpolador utilizado na correção geométrica da imagem foi o Vizinheiro mais Próximo.

4.1.1.3. Mosaicagem

A elaboração do mosaico foi realizada no *software ERDAS IMAGINE 9.0*, observando as seguintes etapas:

- Verificação e seleção das imagens *CBERS*;
- Verificação da sobreposição entre imagens;
- Mosaicagem das imagens;
- Recorte dos mosaicos.

Visando melhorar o padrão de cores de cada imagem do mosaico, adotou-se o método de equalização histogrâmicas, com o objetivo de suavizar a transição de imagens sucessivas. Essa etapa refere-se a processamentos realizados para melhorar a imagem no domínio espectral. Depois das imagens registradas, seus histogramas foram equalizados antes de ser iniciado o processo de mosaicagem.

Na opção *Viewer*, para a correção do histograma, as cenas foram abertas sem realce de cores, com a opção de contraste padrão do *ERDAS No Stretch*, habilitada. O melhoramento na qualidade das imagens *CBERS* foi realizado manualmente, cena por cena.

4.1.1.4. Delimitação da Linha d'Água de 2.000 m³/s

No mapeamento da linha base do rio, assim denominada por representar a vazão de 2.000 m³/s, foram utilizadas as mesmas imagens orbitais do satélite *CBERS-2/CCD* existentes no acervo da Agência Nacional de Águas (ANA), embora as cenas 151_110 e 150_110, em destaque na **Figura 01**, não representem exatamente a vazão de 2.000 m³/s. Tal fato não compromete o traçado da linha d'água para esse nível de vazão, uma vez que a diferença entre os traçados das linhas d'água não é perceptível na escala de apresentação, 1:100.000. Além disso, o objetivo do estudo é verificar o comportamento da planície de inundação para patamares de vazão mais elevados.

O traçado da linha d'água de 2.000 m³/s foi digitalizado a partir da interpretação em tela das cenas do *CBERS-2/CCD*. A escala de interpretação das imagens manteve a relação de ¼ (um quarto) da escala de saída dos dados, ou seja, sendo a escala de saída de 1:100.000, a escala de interpretação foi de 1:25.000 ou no máximo 1:20.000.

4.1.1.5. Mapeamento do Uso do Solo

Para determinação da abrangência espacial do levantamento do uso e ocupação do solo, foi considerada como área de estudo, uma faixa marginal de 5 Km a partir do leito do Rio São Francisco, no trecho entre o reservatório de Sobradinho e a cidade de Belém do São Francisco-PE. Essa definição considerou a abrangência geográfica dos maiores municípios inseridos na área de análise: Petrolina e Juazeiro.

Foram consideradas duas classes de uso do solo: área urbana e área rural. Como áreas urbanas foram classificadas as maiores concentrações populacionais, ou seja, as principais cidades ou núcleos urbanos (**ANEXO 5**). Os pequenos povoados e as fazendas foram classificados como área rural. A técnica utilizada foi a Classificação Supervisionada, onde é criada uma assinatura espectral de classes definidas, a partir da coleta dos *pixels* contidos em polígonos definidos pelo operador e que representam determinada classe.

A Base Cartográfica do Brasil ao Milionésimo Digital do IBGE foi utilizada como apoio ao estudo, por ser a base oficial disponível para mapeamentos regionalizados. Os temas de sistema viário, hidrografia e sede municipal foram atualizados utilizando como referência a imagem do satélite *CBERS-2/CCD*.

4.1.2. Mapeamento da Linha d'Água referente à Vazão de 6.000 m³/s

Para o mapeamento da linha d'água com defluência de 6.000 m³/s foi realizada interpretação visual em tela das imagens *RADARSAT-1*, provenientes do acervo da Agência Nacional de Águas (ANA), apoiada no acervo fotográfico da CHESF.

4.1.2.1. Especificação

O *RADARSAT-1* foi utilizado porque, diferentemente dos sensores ópticos, não depende das condições meteorológicas e de iluminação para obter suas imagens. Com isso, áreas cobertas por nuvens, como se encontrava a região das margens do Rio São Francisco no período de ocorrência da vazão de 6.000 m³/s, puderam ser mapeadas. As especificações técnicas das cenas utilizadas estão relacionadas nas **Tabelas 01 e 02**, abaixo.

SCENE_ID	DESCRIÇÃO	
P0494311	MDA ORDER NUMBER	07-00336-003
	GEOGRAPHICAL AREA	Brazil
	SCENE START TIME	FEB 23 2007 08:20:56.003
	SCENE STOP TIME	FEB 23 2007 08:21:19.330
	ORBIT	59007 DESCENDING
	ORBIT DATA TYPE	DEFINITIVE
	APPLICATION LUT	MIXED
	BEAM MODE	SAR WIDE 1
	PRODUCT TYPE	PATH IMAGE (SGF)
	FORMAT	RADARSAT CEOS
	# OF IMAGE LINES	12524
	# OF IMAGE PIXELS	14981
	PIXEL SPACING	12.500 m
	SCENE CENTRE	9°03'S 40°10'W
	CORNER COORDINATES:	
	8°10'58.66" S	8°33'46.98" S
	40°50'25.76" W	39°11'07.28" W
	9°33'42.00" S	9°56'42.83" S
	41°09'33.87" W	39°29'39.35" W

Tabela 01 – Descrição da cena P0494311 do RADARSAT

SCENE_ID	DESCRIÇÃO	
P0496274	MDA ORDER NUMBER	07-00336-005
	GEOGRAPHICAL AREA	Brazil
	SCENE START TIME	MAR 02 2007 08:16:43.082
	SCENE STOP TIME	MAR 02 2007 08:17:06.597
	ORBIT	59107 DESCENDING
	ORBIT DATA TYPE	PREDICTED
	APPLICATION LUT	MIXED
	BEAM MODE	SAR WIDE 1
	PRODUCT TYPE	PATH IMAGE (SGF)
	FORMAT	RADARSAT CEOS
	# OF IMAGE LINES	12624
	# OF IMAGE PIXELS	14983
	PIXEL SPACING	12.500 m
	SCENE CENTRE	9°06'S 39°07'W
	CORNER COORDINATES:	

Tabela 02– Descrição da cena P0496274 do RADARSAT

4.1.2.2. Georeferência

Para o georeferenciamento das imagens *RADARSAT-1* foram considerados somente os dados de efemérides do satélite, gravados no cabeçalho das imagens. O erro de localização apresentado ficou em aproximadamente 100m. Devido a este erro expressivo foi realizado novo georeferenciamento, do tipo imagem-imagem, sendo as imagens do satélite *CBERS-2/CCD* consideradas como referência. As imagens *CBERS-2/CCD* foram auditadas por técnicos da ANA e apresentaram um erro quadrático médio (*RMS*) entorno de 0,6 *pixel*, aproximadamente 12,00 m, compatível com a escala final do trabalho, prevista para 1:100.000. Foram inseridos pontos de controle (PCs) distribuídos homogeneamente ao longo da imagem a ser corrigida, mantendo um *RMS* de 0,5 *pixel*, equivalente a 15,00 m para a imagem *RADARSAT-1*. Foi, então, realizada a transformação matemática, baseada em um polinômio de grau 1, tendo como referência a matriz de reamostragem gerada pelos PCs e segundo uma janela matricial ou interpolador do tipo Vizinho mais Próximo, gerando uma imagem ajustada. Em visualização prévia, tendo como base uma carta planialtimétrica na escala 1:100.000 que recobre parte do Rio São Francisco, as imagens apresentaram excelente sobreposição em alguns trechos, em detrimento de outros.

A operação de registro, levando em consideração imagens com características espectrais e resoluções espaciais diferenciadas, elevou o nível de complexidade do trabalho, pois nem sempre um alvo que se destaca em uma imagem é de fácil identificação na outra. A interação da onda eletromagnética, emitida pelo sol, com os alvos na superfície (imagem óptica) é extremamente diferente quando comparada com um pulso emitido por um Sistema Ativo (imagem radar). Enquanto uma onda eletromagnética pode ser refletida, absorvida e/ou transmitida o pulso interage especularmente, retroespalhando e/ou refletindo com máxima intensidade (efeito

corner). Estas diferenças podem até mesmo omitir ou criar (omissão ou comissão, respectivamente) feições, quando comparadas às imagens de sensores ópticos e radares.

Devido à dificuldade de identificação de alvos observados nas imagens ópticas nas imagens de radar, foi necessário restringir o uso da imagem a uma área de interesse, ou seja, o Rio São Francisco, em detrimento da coleta e distribuição homogênea dos Pontos de Controle (PCs) em toda a imagem. Esta condição facilitou a aquisição de PCs, sendo considerados como principais feições de referência alvos como: pontas de ilhas, confluências, estradas próximas às margens do rio, entre outros. Porém, ao finalizar o registro, mesmo com um *RMS* (Erro Quadrático Médio) adequado, as imagens apresentaram distorções geométricas, tanto no eixo longitudinal como no vertical. Estas distorções foram corrigidas durante a etapa de classificação, por meio de um ajustamento com o algoritmo *Georeferencing*, presente no *software* de geoprocessamento (*ArcGIS/ArcView*).

4.1.2.3. Realce

As imagens de radar foram submetidas a operações histográficas do tipo fatiamento de níveis de cinza, por meio do *software* de Processamento Digital de Imagens (PDI), onde intervalos de níveis de cinza (NCs) foram pré-determinados pelo operador e a imagem reclassificada, baseada nestes intervalos. O efeito visual desta técnica nas imagens de radar foi uma melhoria na discretização dos diversos alvos, pois o agregamento dos NCs provocou uma diminuição no nível de ruído, facilitando a delimitação da linha d'água durante a fase de classificação.

O primeiro intervalo de NCs estabelecido está relacionado à resposta especular do alvo água e representa o espelho d'água, que é o alvo mais expressivo na análise da classificação. Os outros intervalos, que representaram os demais alvos na superfície, serviram de referência para a delimitação do mapeamento do espelho. Sendo assim, inicialmente, foi definido como primeiro limiar para o padrão especular o intervalo entre 0 e 44. Houve uma melhoria na imagem, porém algumas áreas consideradas inundadas, quando do sobrevôo de reconhecimento, não foram agregadas. Com isso, o intervalo foi aumentado para 0 a 203 e a nova imagem reclassificada e gerada apresentou maior concreção, sendo esta a utilizada no mapeamento do espelho.

4.1.2.4. Delimitação da Linha d'Água de 6.000 m³/s

Normalmente, as imagens ópticas apresentam uma correspondência espectral mais direta com os alvos da superfície, facilitando o poder de interpretação do operador e/ou classificador, devido ao aspecto de cor apresentado, como por exemplo, composição colorida *RGB*. Na imagem de radar esta correspondência não é direta, pois os alvos na superfície são representados por NCs e em uma única banda espectral. Esta diferença justifica a necessidade de complementariedade entre estes produtos no procedimento de classificação, principalmente quando o produto final a ser alcançado for baseado nas imagens de radar.

Os classificadores automáticos e supervisionados são mais adequados às imagens ópticas, enquanto o classificador manual ou interpretação visual em tela é adequado tanto para as imagens ópticas, quanto para as originadas por radares. Para o presente

trabalho, que está baseado em interpretação de imagens de radar foi definido como método de classificação a interpretação visual em tela.

A escala de interpretação das imagens manteve a relação de $\frac{1}{4}$ (um quarto) da escala de saída dos dados, ou seja, sendo a escala de saída de 1:100.000, a escala de interpretação foi de 1:25.000 ou no máximo 1:20.000.

4.1.3 - Sobreposição das Linhas d'Água

Ao final da delimitação das duas linhas d'água, foi efetuada a conversão das linhas para o formato *shapefile*, de forma que fosse realizada a sua sobreposição no aplicativo *ArcGIS*, para obtenção de um mapeamento único para todo o trecho de interesse, mantendo os produtos específicos. Foi verificada a coerência das linhas entre si e entre as linhas e as informações da base cartográfica do IBGE, das imagens de satélite e do acervo fotográfico da CHESF.

Após a sobreposição das linhas d'água e conversão dos arquivos editados no *ERDAS Imagine* e *AutoCad Map*, todos os arquivos vetoriais foram convertidos para o formato *shapefile* do *ArcGIS*. Em seguida, procedeu-se a estruturação dos mapas, de forma a definir a escala de apresentação mais adequada para sua representação.

Uma vez realizada a superposição dos arquivos *shapefile*, foram destacadas as linhas d'água das vazões consideradas pelo estudo, visando representá-las da forma mais nítida possível (ANEXOS 1 a 8).

4.2. Mapeamento Detalhado

4.2.1. Implantação da Rede Geodésica de Referência

Para implantação da rede geodésica de referência foi necessária uma equipe composta por um engenheiro cartógrafo, dois assistentes técnicos (formação acadêmica em Edificações e Hidrometeorologia, Agrimensura e Topografia) e quatro auxiliares de serviços gerais.

Na mesma ocasião, foram coletadas, junto à Prefeitura Municipal de Juazeiro, informações digitais georeferenciadas referentes à orla do município. As informações da orla da cidade de Petrolina foram cedidas pela Secretaria de Obras, Habitação, Urbanismo e Meio Ambiente da Prefeitura de Petrolina – PE.

Na etapa seguinte, procedeu-se à implantação dos marcos referenciais e auxiliares, que subsidiaram o desenvolvimento de um sistema de referência espacial tridimensional para suporte ao mapeamento de curvas de isovalor de vazão nas orlas urbanas de Petrolina-PE e Juazeiro -BA e o Balneário da Ilha do Rodeadouro.

4.2.2. Rede Geodésica de Referência

4.2.2.1. Definição

A rede geodésica de referência implantada pela CHESF, nas orlas de Petrolina e Juazeiro, povoado do Rodeadouro e no Balneário da Ilha do Rodeadouro, objetivou oferecer o apoio necessário à realização do levantamento topográfico georeferenciado das curvas de isovalor de vazão. Desta forma, garantiu-se a compatibilização do estudo com a imagem orbital proveniente do satélite *QUICKBIRD*, a qual está ortoretificada e georeferenciada ao sistema geodésico *WGS-84*.

Foi adotado como referência o sistema geodésico SIRGAS2000, atual Sistema Geodésico Brasileiro, ao qual as coordenadas das estações pertencentes à rede fundamental do IBGE estão referenciadas e que, por definição, é perfeitamente compatível com o sistema geodésico americano *WGS-84* em nível centimétrico, exigido pela precisão da imagem orbital utilizada.

Das 22 estações escolhidas, 03 (três) são da rede SAT do IBGE, as quais fazem o recobrimento da área, utilizando referenciais oficiais de primeira ordem.

A escolha das estações foi baseada na disponibilidade de vértices da Rede SAT do IBGE, de forma que pudessem cobrir a área de trabalho. Também foram incluídas no estudo RRNN da rede altimétrica do IBGE, utilizadas para a geração do modelo geoidal local.

As estações SAT escolhidas estão localizadas no aeroporto de Petrolina-PE. (SAT93088), na Universidade Estadual da Bahia – UNEB em Juazeiro - BA (SAT93178) e à margem da rodovia BA-210 (SAT93089), próximo à entrada para a localidade da Barrinha, distrito de Juazeiro – BA, conforme **Figura 02**.

As RRNN que foram incluídas na rede geodésica são: SAT93089, SAT93088, 2721Fm, 335Im, 2721Em, 2720Z, 2720X, 2720T. As estações identificadas com o acréscimo da letra “m” sofreram transporte de cota para um local tecnicamente adequado ao rastreamento com receptor GPS.

Seguem na **Tabela 03** abaixo as observações de linhas de base realizadas, compondo a rede de referência e os irradiamentos para os marcos auxiliares:

REDE DE REFERÊNCIA CHESF

Linhas de Base e Irradiamentos

Linha de base	DeltaX (m)	Desvio padrão X(m)	DeltaY (m)	Desvio padrão Y(m)	DeltaZ (m)	Desvio padrão Z(m)	Comp. (m)	Desvio padrão (m)	Tempo Obs	Nº Sat	PDOP
MR02 - MA06	66,07	0,001	82,29	0,001	-8,513	0,001	105,875	0,002	00:14:55	9	1,2
93088 - MR02	-2784,877	0,012	-436,496	0,012	-10928,377	0,012	11286,075	0,021	01:18:05	9	1,4
MR02 - MR01	6607,422	0,012	6079,054	0,013	6410,791	0,012	11032,278	0,021	00:38:55	8	1,5
93089 - MR02	-2806,496	0,006	-3402,072	0,006	539,695	0,005	4443,173	0,01	00:20:20	9	1,1
MR02 - MA04	868,044	0,003	1132,177	0,003	-466,163	0,002	1500,878	0,005	00:14:55	8	1,4
MR02 - MA05	861,292	0,003	1120,612	0,004	-433,095	0,002	1478,23	0,006	00:15:00	8	1,5
93178 - 2721Em	-968,352	0,003	-1304,607	0,003	647,338	0,003	1748,929	0,005	00:22:00	7	1,8
93178 - MA08	-1471,861	0,004	-1970,84	0,006	987,031	0,004	2650,437	0,008	00:19:00	9	1,4
2721Em - MA08	-503,504	0,002	-666,234	0,004	339,692	0,002	901,54	0,005	00:20:35	8	1,4
93178 - 93089	-4983,03	0,009	-4389,557	0,01	-5687,177	0,009	8743,156	0,017	00:30:35	10	1,4
93089 - 2720Z	2427,207	0,005	2323,271	0,005	2030,97	0,005	3926,036	0,008	00:30:35	10	1,4
93178 - MA03	606,741	0,003	950,042	0,002	-949,235	0,002	1473,69	0,004	00:16:00	9	1,8
93178 - MA02	-94,565	0,001	-209,819	0,001	373,591	0,001	438,79	0,002	00:16:50	10	1,2
93178 - MA01	-759,319	0,002	-1050,539	0,003	615,251	0,002	1434,828	0,004	00:17:25	8	1,8
93178 - 2720Z	-2555,826	0,006	-2066,282	0,006	-3656,207	0,006	4916,26	0,01	00:50:05	9	1,8
93088 - MR01	3822,523	0,009	5642,533	0,009	-4517,611	0,009	8176,715	0,015	00:41:25	11	1,5
93088 - 335Im	4098,102	0,009	5752,689	0,009	-3729,295	0,009	7987,21	0,015	00:41:25	9	1,7
MR01 - MA07	-736,668	0,002	-781,54	0,003	-279,004	0,002	1109,652	0,004	00:22:05	7	2
MR01 - 2721Em	213,751	0,002	408,009	0,002	-615,952	0,001	769,128	0,003	00:53:00	10	1,4
MR01 - 335Im	275,582	0,002	110,15	0,002	788,315	0,002	842,329	0,003	00:46:25	9	1,8
MR01 - MR03	-602,104	0,003	-627,099	0,003	-267,492	0,002	909,579	0,004	00:17:05	8	1,8
MR01 - MR05	1267,139	0,003	1498,088	0,003	-40,353	0,003	1962,534	0,005	00:15:10	9	1,4
MR01 - MR04	554,347	0,002	605,757	0,002	204,914	0,002	846,305	0,003	00:23:50	10	1,2
2721Em - MR05	1053,383	0,003	1090,083	0,003	575,6	0,002	1621,485	0,005	00:15:10	8	1,7
2721Em - MR04	340,6	0,002	197,748	0,002	820,866	0,002	910,458	0,004	00:16:40	9	1,3
MA07 - MR03	134,565	0,001	154,439	0,002	11,513	0,001	205,163	0,002	00:16:55	7	2
93089 - 2720T	-2070,224	0,006	-1310,2	0,006	-4416,625	0,006	5050,646	0,01	00:48:55	10	1,9
93089 - 2720X	1096,456	0,004	712,351	0,003	2238,665	0,003	2592,543	0,006	00:21:00	8	2
MR01 - 2721Fm	49,389	0,001	-59,997	0,002	445,166	0,002	451,897	0,003	00:22:45	6	2,4
2720T - 2720X	3166,671	0,008	2022,549	0,008	6655,29	0,008	7642,735	0,014	00:21:00	9	1,3

Tabela 03- Valores extraídos da tabela de vetores gerada pelo programa computacional de pós-processamento de observações *GPS Ashtech Solutions 2.7*.

A rede foi calculada e ajustada utilizando os pontos da Rede SAT como injunções, propiciando o cálculo das posições precisas das referências de nível e de todos os marcos implantados.

A **Tabela 04** mostra as coordenadas obtidas com pós-processamento, geradas no programa computacional *Ashtech Solutions 2.7* e apresentadas em forma de relatório. A **Figura 02** apresenta esquema da geometria da rede calculada.

Site Positions
PetroJua2307_ajustado – Parte 01

Horizontal Coordinate System: Univ. Transverse Merc. (S)Date: 08/28/07					
Height System: Alt. Elips.		Project file: PetroJua2307_ajustado.spr			
Desired Horizontal Accuracy: 0.020m + 1ppm					
Desired Vertical Accuracy: 0.040m + 2ppm					
Confidence level: Erro Padrão					
Linear Units of measure: metros					
Site		Padrão		Fix	Position
ID	Site Descriptor	Position	Error	Status	Status
1	MA06	MA06 East.	326135.999	0.015	Ajustado
		Nrth.	8953310.568	0.019	
		Elev.	349.595	0.033	
2	MR02	MR02 East.	326030.489	0.015	Ajustado
		Nrth.	8953319.036	0.018	
		Elev.	351.506	0.032	
3	AERO	SAT93088 East.	328123.349	0.006	Fixo Ajustado
		Nrth.	8964408.330	0.002	Fixo
		Elev.	370.510	0.014	Fixo
4	MR01	MR01 East.	334915.334	0.008	Ajustado
		Nrth.	8959857.095	0.009	
		Elev.	355.571	0.015	
5	BA21	SAT93089 East.	330442.056	0.007	Fixo Ajustado
		Nrth.	8952793.368	0.003	Fixo
		Elev.	361.040	0.018	Fixo
6	MA04	MA04 East.	327457.061	0.017	Ajustado
		Nrth.	8952853.032	0.020	
		Elev.	352.082	0.036	

Tabela 04 – Relatório Final de Pós-processamento

Site Positions
PetroJua2307_ajustado – Parte 02

Horizontal Coordinate System: Univ. Transverse Merc. (S)Date: 08/28/07					
Height System: Alt. Elips.		Project file: PetroJua2307_ajustado.spr			
Desired Horizontal Accuracy: 0.020m + 1ppm					
Desired Vertical Accuracy: 0.040m + 2ppm					
Confidence level: Erro Padrão					
Linear Units of measure: metros					
7	MA05	MA05 East.	327443.737	0.016	Ajustado
		Nrth.	8952885.981	0.021	
		Elev.	349.002	0.037	
8	UNEB	SAT93178 East.	336990.562	0.002	Fixo Ajustado
		Nrth.	8958584.958	0.002	Fixo
		Elev.	351.890	0.014	Fixo
9	MA03	MA03 East.	338111.000	0.006	Ajustado
		Nrth.	8957627.971	0.007	
		Elev.	354.165	0.014	
10	MA02	MA02 East.	336768.003	0.003	Ajustado
		Nrth.	8958963.047	0.004	
		Elev.	354.201	0.006	
Site		Padrão	Fix	Position	
ID	Site Descriptor	Position	Error	Status	Status
11	MA01	MA01 East.	335696.081	0.006	Ajustado
		Nrth.	8959203.459	0.008	
		Elev.	354.483	0.015	
12	MATR	2721Em East.	335367.027	0.006	Ajustado
		Nrth.	8959234.685	0.008	
		Elev.	355.201	0.014	

Tabela 04 – Relatório Final de Pós-processamento

Site Positions
PetroJua2307_ajustado – Parte - 03

Horizontal Coordinate System: Univ. Transverse Merc. (S)Date: 08/28/07						
Height System: Alt. Elips.		Project file: PetroJua2307_ajustado.spr				
Desired Horizontal Accuracy: 0.020m + 1ppm						
Desired Vertical Accuracy: 0.040m + 2ppm						
Confidence level: Erro Padrão						
Linear Units of measure: metros						
13	MA08	MA08	East.	334532.053	0.009	Ajustado
		Nrth.		8959574.339	0.010	
		Elev.		348.838	0.019	
14	272Z	2720Z	East.	333775.782	0.011	Ajustado
		Nrth.		8954866.227	0.014	
		Elev.		357.789	0.021	
15	MA07	MA07	East.	333843.966	0.010	Ajustado
		Nrth.		8959568.686	0.011	
		Elev.		349.432	0.019	
16	CATE	RN335Im	East.	335174.610	0.009	Ajustado
		Nrth.		8960658.389	0.011	
		Elev.		362.934	0.017	
17	MR03	MR03	East.	334048.721	0.009	Ajustado
		Nrth.		8959581.251	0.011	
		Elev.		349.505	0.019	
18	MR05	MR05	East.	336877.356	0.009	Ajustado
		Nrth.		8959824.158	0.011	
		Elev.		353.102	0.019	
19	MR04	MR04	East.	335734.988	0.008	Ajustado
		Nrth.		8960067.337	0.010	
		Elev.		349.839	0.016	

Tabela 04 – Relatório Final de Pós-processamento

Site Positions
PetroJua2307_ajustado – Parte - 04

Horizontal Coordinate System: Univ. Transverse Merc. (S)Date: 08/28/07					
Height System: Alt. Elips.		Project file: PetroJua2307_ajustado.spr			
Desired Horizontal Accuracy: 0.020m + 1ppm					
Desired Vertical Accuracy: 0.040m + 2ppm					
Confidence level: Erro Padrão					
Linear Units of measure: metros					
20	272T	2720T	East.	328120.864 0.014	Ajustado
		Nrth.	8948308.288	0.019	
		Elev.	378.078	0.033	
21	P_SF	RN2721Fm	East.	334899.855 0.009	Ajustado
		Nrth.	8960308.666	0.011	
		Elev.	358.321	0.018	
22	272X	2720X	East.	331685.911 0.011	Ajustado
		Nrth.	8955067.733	0.012	
		Elev.	358.334	0.021	

Tabela 04 – Relatório Final de Pós-processamento

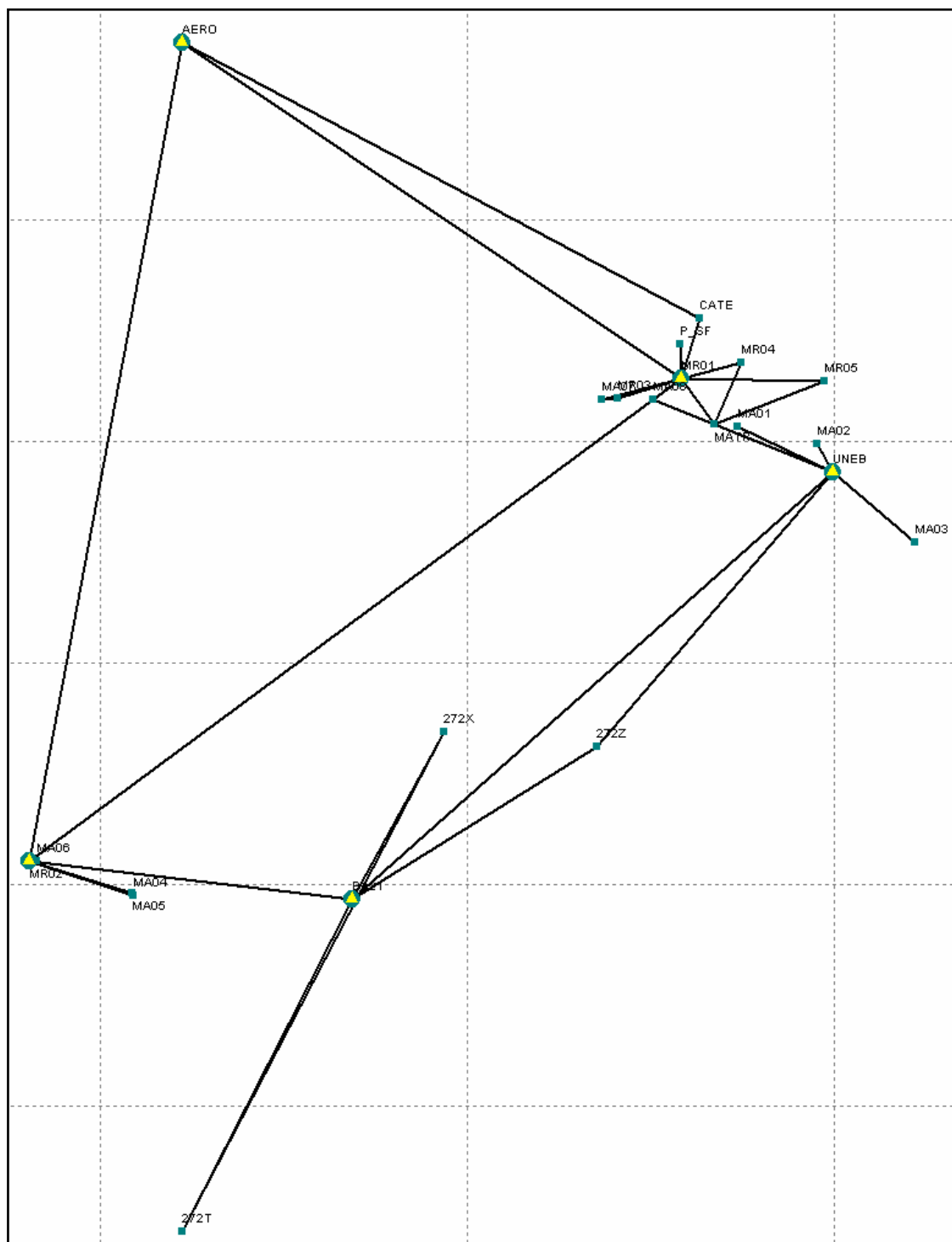


Figura 02 - Geometria da rede geodésica implantada.

Uma análise simplificada da precisão, **Tabela 05**, relativa à rede de referência implantada, pode ser realizada através dos Erros Médios Quadráticos (*Leica Geosystems*, 2005) obtidos das estações observadas e ajustadas, além do cálculo dos respectivos PEC (Padrão de Exatidão Cartográfica), conforme Decreto N° 89.817 de 20 de junho de 1984, que estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional.

RMS_EUTM_{REDE}	0,010m	PEC_EUTM_{REDE}	0,017m
RMS_NUTM_{REDE}	0,012m	PEC_NUTM_{REDE}	0,020m
RMS_h_{REDE}	0,022m	PEC_h_{REDE}	0,036m
RMS_ENUTM_{REDE}	0,016m	PEC_ENUTM_{REDE}	0,026m
RMS_REDE	0,027m	PEC_REDE	0,045m

Tabela 05 - Erros Médios Quadráticos e os PEC

Onde:

RMS_EUTM_{REDE} = Erro médio quadrático na direção do eixo *UTM E*, relativo à Rede implantada.

RMS_NUTM_{REDE} = Erro médio quadrático na direção do eixo *UTM N*, relativo à Rede implantada.

RMS_h_{REDE} = Erro médio quadrático na direção normal (eixo das alturas “h”) relativo à Rede implantada.

RMS_ENUTM_{REDE} = Erro médio quadrático para o plano *UTM EN*, relativo à Rede implantada.

RMS_REDE = Erro médio quadrático tridimensional relativo à Rede implantada.

PEC_EUTM_{REDE} = Padrão de Exatidão cartográfica – PEC, na direção *UTM E*, relativo à rede implantada.

PEC_NUTM_{REDE} = PEC da direção *UTM N*, relativo à rede implantada.

PEC_h_{RED} = PEC da direção normal, relativa à rede implantada

PEC_REDE = PEC tridimensional relativo à rede implantada.

Visto isto, seguindo este mesmo decreto, a rede implantada é suficiente para produtos com escala até 1:1.000 ou menor (1:2.000, 1:5.000, 1:10.000, etc.), já considerando os erros inerentes aos irradiamentos do levantamento topográfico planialtimétrico, através do método trigonométrico, com taqueometria eletrônica.

4.2.2.2. Modelo Geoidal Local

Visando agilizar o levantamento topográfico das curvas de isovalor de vazão, o nivelamento altimétrico da rede de referência implantada foi executado com os receptores GPS, citados anteriormente.

Pelo fato de o Sistema *NavstarGPS* trabalhar com alturas geométricas, medidas em relação ao elipsóide utilizado, SIRGAS2000, foi necessária uma etapa adicional, constituída na formulação do modelo matemático de conversão entre o Sistema de referência altimétrica elipsoidal e geoidal.

O modelo adotado define apenas um plano, que representa a separação existente entre as duas superfícies altimétricas (ARANA, 2005). Neste caso, foi escolhido este modelo mais simples, representado matematicamente pela Equação 1, por se tratar de uma área pouco extensa, com 192 Km²,

Modelo Geoidal

$$N_{LOCAL} = a \cdot E_{UTM} + b \cdot N_{UTM} + c \quad (1)$$

Onde:

N_{LOCAL} : Ondulação geoidal local

E_{UTM} , N_{UTM} : Coordenadas em projeção *UTM*

a, b, c: Parâmetros do modelo

Por uma aproximação já bastante utilizada por convenção, a ondulação geoidal pode ser definida como (MONICO, 2000):

$$H = h - N \quad (2)$$

Onde:

N : Ondulação geoidal

h : Altitude geométrica ou elipsoidal (obtida nos levantamentos GPS)

H : Altitude ortométrica (realidade física, vinculadas ao campo de gravidade da Terra)

Obedecendo a uma distribuição espacial regular para o recobrimento da área levantada e posicionando pontos, inclusive nos extremos da mesma, foram escolhidos 5 pontos (*GCP: Ground Control Point*) para a calibração do modelo geoidal planar adotado e mais 4 pontos de checagem (*CP: Check Point*), como mostra a **Tabela 06**.

O cálculo dos coeficientes foi realizado utilizando o Método dos Mínimos Quadrados (MMQ), Equação 3, para solução de sistemas lineares, no modo matricial (GEMAEL, 1994)

$$X = (A^T \cdot P \cdot A)^{-1} \cdot A^T \cdot P \cdot L_b \quad (3)$$

Onde:

A : Matriz de coeficientes

P : Matriz de pesos

L_b : vetor de observações

X : vetor solução, com os parâmetros a, b e c calculados

A matriz dos pesos P foi gerada com base nas precisões de h , obtidas no ajustamento da rede de referência e no padrão de precisão da rede altimétrica do IBGE. Esta última obedece ao critério de $3\text{mm} \cdot \sqrt{\text{Km}}$, que significa 3,00 milímetros vezes a raiz quadrada do comprimento da linha de nivelamento em quilômetros.

Como forma de simplificar a estimativa de precisão de cada estação da Rede Altimétrica do IBGE, foi calculada a precisão de uma linha de base qualquer de 12 Km, utilizando o critério citado e a mesma foi atribuída por convenção a cada estação. Desta forma, a contribuição de precisão das altitudes ortométricas na estimativa dos pesos das respectivas observações é igual a 1,00 cm.

Visto isso, os elementos da diagonal principal da matriz P foram preenchidos com o inverso da raiz da soma dos quadrados das precisões de h e H , seguindo a fórmula e tabela de valores utilizados a seguir:

Cálculo dos elementos da diagonal principal da matriz dos pesos "p"

$$P_{ii} = \frac{1}{\sqrt{dh_i^2 + 1\text{cm}^2}} \quad (4)$$

Onde:

P_{ii} = Elemento da coluna "i" e linha "i" da matriz dos pesos "p".

dh_i = Parâmetro de precisão da altitude geométrica do elemento "i" da diagonal principal da matriz "p".

	Ponto	E_{UTM}	N_{UTM}	h	dh	H	N_{Local}
GCP	Aeroporto - SAT93088	328.123,349	8.964.408,330	370,510	0,014	383,774	-13,264
	Catedral - RN335Im	335.174,610	8.960.658,389	362,917	0,017	376,098	-13,181
	2720T	328.120,864	8.948.308,288	378,078	0,033	391,47	-13,392
	Matriz - RN2721Em	335.367,027	8.959.234,685	355,201	0,014	368,363	-13,162
	BA210 - SAT93089	330.442,056	8.952.793,368	361,040	0,018	374,369	-13,329
CP	2720Z	333.775,782	8.954.866,227	357,789	0,021	371,029	-13,240
	2720X	331.685,911	8.955.067,733	358,334	0,021	371,660	-13,326
	MR01	334.915,334	8.959.857,095	355,571	0,015	368,759	-13,188
	PonteSF - RN2721Fm	334.899,855	8.960.308,666	358,321	0,018	371,477	-13,156

Tabela 06 -Valores utilizados no cálculo do modelo geoidal local

Substituindo (02) em (01) e procedendo ao ajustamento pelo Método dos Mínimos Quadrados, foi obtido o modelo de altitudes Ortométricas, Equação 5, baseado nas altitudes geométricas e nas ondulações geoidais locais.

Modelo de Altitudes Ortométricas

$$H_{ORTO} = h_{elip} - N_{LOCAL} = h_{elip} - (1,84172 \cdot 10^{-5} E_{UTM} + 8,31651 \cdot 10^{-6} N_{UTM} - 93,8615) \quad (5)$$

Assim como a análise simplificada da qualidade da rede de referência, o modelo em questão, representado por N, pode ser analisado através dos Erros Médios Quadráticos obtidos dos GCPs e dos CP e os seus respectivos PEC (Padrão de Exatidão Cartográfica), mostrados na **Tabela 07** a seguir:

RMS_ N_{CP}	0,026m	PEC_ N_{CP}	0,043m
RMS_ N_{GCP}	0,010m	PEC_ N_{GCP}	0,017m

Tabela 07 - Erros Médios Quadráticos e os PEC

RMS_ N_{CP} = Erro médio quadrático dos pontos de checagem (CP) no cálculo da ondulação geoidal local (N).

RMS_ N_{GCP} = Erro médio quadrático dos pontos de controle (GCP) no cálculo da ondulação geoidal local (N).

PEC_ N_{CP} = PEC obtido dos pontos de checagem, no cálculo da ondulação geoidal local (N).

PEC_ N_{GCP} = PEC obtido dos pontos de controle, no cálculo da ondulação geoidal local (N).

Seguindo-se a mesma orientação do decreto N° 89.817, a nuvem de pontos tridimensionais levantada para a correta representação da superfície do terreno é suficiente para gerar curvas de nível com equidistância de até 50,00 cm ou maior, já considerando os erros inerentes à taqueometria eletrônica utilizada no levantamento topográfico.

4.2.2.3. Curva Cota x Vazão

A curva Cota x Vazão representa a relação entre vazão e nível do rio e permite estimar as vazões a partir de observações de nível. Sua determinação é possível a partir de medições diretas de vazão periodicamente.

Como o objetivo deste trabalho é a definição das curvas de isovalor de vazão correspondentes aos valores 2.000, 4.000, 6.000 e 8.000 m³/s, foi utilizada a curva Cota x Vazão do posto hidrométrico de Juazeiro, código ANEEL - 48020000, instalado na Ilha do Fogo, entre as cidades de Juazeiro - BA e Petrolina - PE., que é utilizada pela área de operação da CHESF.

Para efeito da referência altimétrica, utilizou-se o transporte de cota do RN335I m, IBGE, localizado na Catedral de Petrolina, para a RN do posto hidrométrico de Juazeiro, através de nivelamento geométrico, quando foi definida a constante de 358,00 m a ser somada à cota 0,00 m da régua do posto hidrométrico de Juazeiro para se obter as cotas de altitude ortométrica.

Com isto, a partir de uma amostra de medições de vazão e sua respectiva cota altimétrica, foi realizada uma regressão polinomial de 4º grau, obtendo a seguinte equação polinomial e o respectivo gráfico:

$$y = 358,06 + 0,0012x - 9 \cdot 10^{-8}x^2 + 5 \cdot 10^{-12}x^3 - 10^{-16}x^4$$

$$R^2 = 0,9999$$
(6)



4.2.2.4. Resultados e Considerações Finais sobre a Rede Geodésica de Referência

Sobre o comportamento dos erros calculados, é satisfatório o fato de o *RMS_REDE* ser aproximadamente igual ao *RMS_NCP* ($0,027\text{m} \approx 0,026\text{m}$), assim como os respectivos PEC, haja vista a influência dos erros de H (altitude ortométrica) das RRNN utilizadas ser muito baixa. Isto pode ser explicado pela alta precisão relativa da rede altimétrica do IBGE, atribuindo praticamente toda imprecisão do modelo geoidal local ao levantamento GPS executado.

Visando o mapeamento das curvas de isovalor de vazão indiretamente, através das respectivas cotas altimétricas, os padrões de incerteza inerentes à rede altimétrica do IBGE não influenciaram no resultado, pelo fato do referencial altimétrico adotado ter sido o 0 (zero) da régua de medição da Estação Hidrométrica localizada na Ilha do Fogo, influenciando apenas nos valores de precisão relativa entre as RRNN utilizadas.

A **Tabela 08** mostra as coordenadas tridimensionais das estações da rede geodésica implantada e dos demais marcos auxiliares, com suas respectivas estimativas de precisão relativa, além dos valores de altitude ortométrica obtidos no IBGE ou calculados pelo Modelo Geoidal Local.

IND	PONTO	DESCRIÇÃO	E _{UTM}	dE(m)	N _{UTM}	dN(m)	h(m)	dh(m)	H(m)
1	MA01	MA01	335.696,081	0,006	8.959.203,459	0,008	354,483	0,015	367,653
2	MA02	MA02	336.768,003	0,003	8.958.963,047	0,004	354,201	0,006	367,353
3	MA03	MA03	338.111,000	0,006	8.957.627,971	0,007	354,165	0,014	367,304
4	MA04	MA04	327.457,061	0,017	8.952.853,032	0,020	352,082	0,036	365,456
5	MA05	MA05	327.443,737	0,016	8.952.885,981	0,021	349,002	0,037	362,376
6	MA06	MA06	326.135,999	0,015	8.953.310,568	0,019	349,595	0,033	362,989
7	MA07	MA07	333.843,966	0,010	8.959.568,686	0,011	349,432	0,019	362,633
8	MA08	MA08	334.532,053	0,009	8.959.574,339	0,010	348,838	0,019	362,026
9	MR01	MR01	334.915,334	0,008	8.959.857,095	0,009	355,571	0,015	368,759
10	MR02	MR02	326.030,489	0,015	8.953.319,036	0,018	351,506	0,032	364,902
11	MR03	MR03	334.048,721	0,009	8.959.581,251	0,011	349,505	0,019	362,702
12	MR04	MR04	335.734,988	0,008	8.960.067,337	0,010	349,839	0,016	363,001
13	MR05	MR05	336.877,356	0,009	8.959.824,158	0,011	353,102	0,019	366,245
14	2720T	RN2720T	328.120,864	0,014	8.948.308,288	0,019	378,078	0,033	391,470
15	2720X	RN2720X	331.685,911	0,011	8.955.067,733	0,012	358,334	0,021	371,660
16	2720Z	RN2720Z	333.775,782	0,011	8.954.866,227	0,014	357,789	0,021	371,030
17	Matriz	RN2721Em	335.367,027	0,006	8.959.234,685	0,008	355,201	0,014	368,363
18	PonteSF	RN2721Fm	334.899,855	0,009	8.960.308,666	0,011	358,321	0,018	371,477
19	Catedral	RN335Im	335.174,610	0,009	8.960.658,389	0,011	362,934	0,017	376,098
20	Aeroporto	SAT93088	328.123,349	0,006	8.964.408,330	0,002	370,510	0,014	383,774
21	BA-210	SAT93089	330.442,056	0,007	8.952.793,368	0,003	361,040	0,018	374,369
22	UNEB	SAT93178	336.990,562	0,002	8.958.584,958	0,002	351,890	0,014	365,042
OBS.: Coordenadas <i>UTM</i> referentes ao fuso 24 Sistema Geodésico SIRGAS2000 (Geocêntrico compatível com o <i>WGS-84</i>) <i>Datum</i> de Referência Vertical Imbituba - SC (IBGE)									

Tabelas 08 - Coordenadas Tridimensionais das Estações da Rede Geodésica Implantada

Utilizando a Curva Cota x Vazão do posto hidrométrico de Juazeiro, foram calculadas as cotas altimétricas correspondentes às curvas de isovalor de vazão para as vazões equivalentes como se segue na **Tabela 09**.

Vazão (m³/s)	ALTITUDES	
	Cota IBGE / Altitude Ortométrica H(m)	Cota (m) da Régua do Posto de Juazeiro
2.000	360,1	2,1
4.000	361,7	3,7
6.000	362,9	4,9
8.000	364,0	6,0
10.000	365,0	7,0

Tabela 09 - Relação COTA X VAZÃO do Posto Hidrométrico de Juazeiro.

4.2.3. Levantamento Topográfico das Linhas de Isovalor de Vazão

O levantamento topográfico das linhas de isovalor de vazão na área crítica (Petrolina, Juazeiro e Ilha do Rodeadouro) foi executado por equipe formada por um Técnico Agrícola (topógrafo), um Técnico em Hidrometeorologia e auxiliares de campo. Os equipamentos utilizados foram uma Estação Total – Leica – TC407 e um Nível Topográfico – Leica – NA730.

A metodologia utilizada para o levantamento das curvas de isovalor foi baseada na determinação de seções transversais ao sentido do rio, de acordo com as variações do terreno, de forma a definir uma grade regular de pontos tridimensionais.

Os pontos tridimensionais foram coletados em Petrolina e Juazeiro, entre o limite da linha d'água e o topo do dique de proteção das cidades. No Balneário da Ilha do Rodeadouro, a coleta aconteceu em duas etapas, sempre entre a margem direita e a margem esquerda da ilha, limitada à área do balneário.

4.2.4. Processamento Digital da Rede de Pontos Tridimensionais

O arquivo de pontos tridimensionais foi transferido da Estação Total para o *software Topograph 3.67*, onde os pontos foram interpolados, utilizando triangulação de pontos, para composição das curvas de nível. Foram geradas curvas a cada 1,00 cm e selecionadas as isolinhas das cotas 360,17; 361,71; 362,92 e 364,04 m respectivamente, correspondentes às vazões de 2.000, 4.000, 6.000 e 8.000 m³/s. A correspondência entre as cotas e as vazões foi baseada na Curva Cota x Vazão do posto hidrométrico de Juazeiro - BA.

As curvas e os pontos cotados foram sobrepostos à imagem do satélite *QUICKBIRD*, para análise, correção e consistência dos dados. Em seguida, foi realizada outra visita a campo para verificação e ajuste do traçado das linhas à verdade terrestre, através da restituição visual das marcas deixadas pela descarga de 6.000 m³/s, uma vez que as imagens adquiridas são relativas ao ano de 2005.

Nessa etapa foram utilizados os aplicativos *Topograph 3.67*, *ERDAS Imagine 9.0* e *Auto Cad Map 2005*.

4.2.5. Mapeamento das isolinhas de 2.000, 4.000, 6.000 e 8.000 m³/s

Foi adquirida licença comercial de uso de composição colorida da imagem do satélite *QUICKBIRD* com 60 cm de resolução espacial, para o Mapeamento Detalhado (Orlas de Petrolina – PE, Juazeiro – BA e Balneário da Ilha do Rodeadouro), conforme representado pelo polígono amarelo na **Figura 03**. O produto foi adquirido georeferenciado e com ortorectificação padrão, equalizado, mosaicado e fusionado para alta resolução, conforme especificações na **Tabela 10**. O período de imageamento das cenas foi de 17/09/2005 a 23/10/2005. A aquisição de imagens mais recentes não foi possível devido à sua indisponibilidade em acervo. A programação do satélite para aquisição de novas imagens não seria viável em tempo hábil, devido à existência de uma lista de espera de, aproximadamente, seis meses e estando ainda sujeita às condições meteorológicas.



Figura 03 – Imagem do Satélite *QUICKBIRD* adquirida pela CHESF

	GEOREFERENCIADA	ORTORETIFICADO
RESOLUÇÃO ESPACIAL	0,60 M color (cores naturais)	0,60 M color (cores naturais)
RESOLUÇÃO RADIOMÉTRICA	8bits	8bits
PROJEÇÃO	UTM	UTM
DATUM	WGS-84	SAD-69
ZONA	24	24
ESCALA COMPATÍVEL	ATÉ 1:50.000	ATÉ 1:10.000
NÍVEL DE PRECISÃO	23m (CE90%)	5m (CE90%)
ESCALA VISUAL	ATÉ 1:1.000	ATÉ 1:1.000
COBERTURA DE NUENS - IMAGENS EM CATÁLOGO	Conforme Imagem disponível em catálogo	Conforme Imagem disponível em catálogo
COBERTURA DE NUENS - IMAGENS A PROGRAMAR		
MIDIA	CD-ROM	CD-ROM
FORMATO	GeoTiff	GeoTiff
ID_CENA	1010010004872204-10100100049ACC04-10100100049ACC05	

Tabela 10– Especificação das cenas de imagens do Satélite *QUICKBIRD* adquiridas pela CHESF

As cenas ortoretificadas foram reprojatadas para o sistema *Universal Transverse Mercator* - *UTM WGS84 South*, Zona 24 (*Range 42 W* - *36 W*). O método de reamostragem utilizado foi o *Nearest Neighbor* ou “Vizinho mais próximo”, com ordem polinomial máxima permitida de 3. A tolerância para o Erro Quadrático Médio (*RMSE*) admitido foi de 0,10 *pixels*, equivalente a 6,00 cm.

No que diz respeito às áreas situadas nas orlas de Petrolina e Juazeiro, o mapeamento das isolinhas foi realizado sobre a imagem de satélite *QUICKBIRD*, na qual foram digitalizados os elementos construídos (como o dique de proteção das cidades, as rampas de acesso ao rio, quadras, ruas) e sobrepostas as isolinhas para os patamares de vazão de 2.000, 4.000, 6.000 e 8.000 m³/s, conforme pode ser observado no **ANEXO 9**.

No caso da área situada na Ilha do Rodeadouro, não existem quadras e ruas, apenas construções próprias a uma área de balneário, que segundo registros fotográficos, fica completamente inundado quando da ocorrência de vazões de 4.400 m³/s, conforme pode ser visto na **Foto 01**. De acordo com os registros fotográficos existentes na CHESF, o processo de inundação da área construída no Balneário da Ilha do Rodeadouro inicia-se a partir da defluência de Sobradinho de 3.000 m³/s (**Foto 02**).

Desta forma, para esta localidade, foi digitalizada sobre a imagem do satélite *QUICKBIRD* a linha d'água correspondente à vazão de 2.100 m³/s, que era a defluência média praticada pela Usina de Sobradinho na data da imagem (17/09/2005). As isolinhas para as vazões de 4.000, 6.000 e 8.000 m³/s não puderam ser levantadas, haja vista o balneário já se encontrar tomado pelas águas nesses patamares de vazão (**Foto 01**).

Diante do exposto, foi traçada, além da linha d'água de 2.100 m³/s, a linha d'água do N.A., obtida pelo levantamento topográfico realizado no dia 07 de maio de 2008, correspondente à cota 360,57 m e a defluência média diária de 1.331 m³/s, praticada pela Usina de Sobradinho. As **Fotos 03 e 04** mostram, respectivamente, imagens do Balneário da Ilha do Rodeadouro quando da prática de defluências médias da usina de Sobradinho de 1.331 m³/s e 1.796 m³/s. No **ANEXO 10** encontra-se o mapeamento da linha d'água para as vazões de 2.100 e 1.331 m³/s.



Foto 01– Situação do Balneário da Ilha do Rodeadouro no dia 03/02/07, com defluência média diária da Usina de Sobradinho de 4.446 m³/s.



Foto 02 – Situação do Balneário da ilha do Rodeadouro no dia 22/02/05, com defluência média diária da Usina de Sobradinho de 3.023 m³/s



Foto 03– Situação do Balneário da Ilha do Rodeadouro no dia 13/04/04, com defluência média diária da Usina de Sobradinho de 1.311 m³/s.

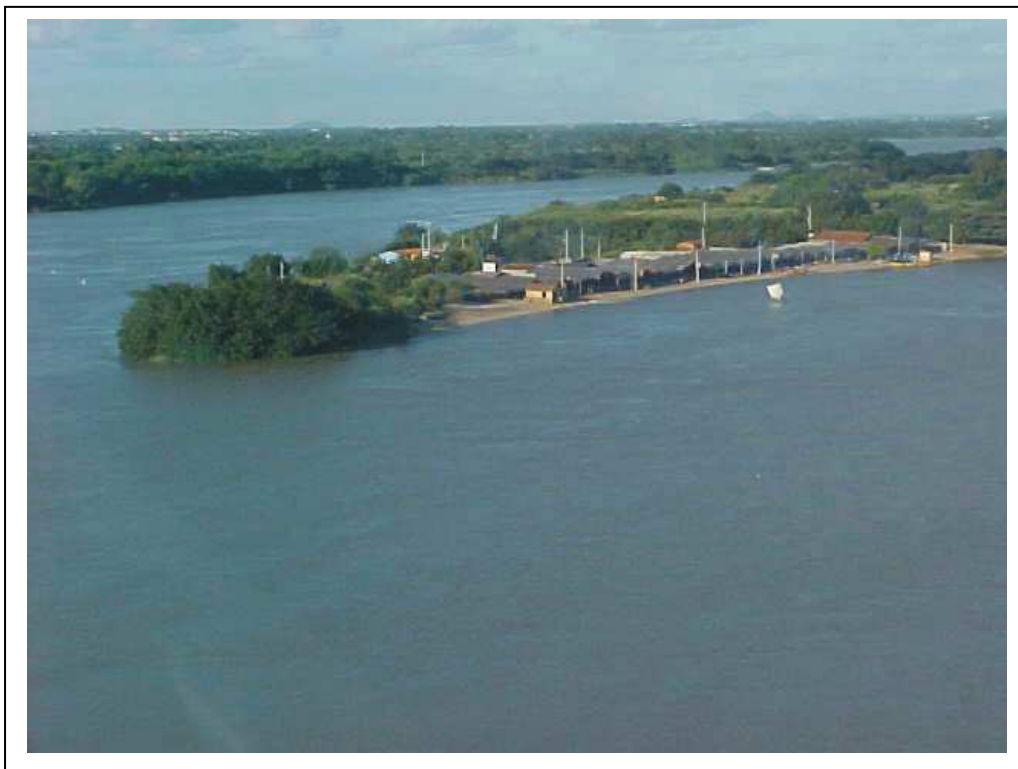


Foto 04 – Situação do Balneário da Ilha do Rodeadouro no dia 14/04/04, com defluência média diária da Usina de Sobradinho de 1.796 m³/s

4.2.6. Mapeamento do Uso e Ocupação do Solo

A CHESF realizou o levantamento do Uso e Ocupação do Solo, identificando ruas, praças e prédios nas cidades de Petrolina - PE e Juazeiro - BA. Os mapas coletados junto às prefeituras serviram como base para o levantamento em campo.

Em Petrolina, o levantamento cobriu uma faixa de aproximadamente 500,00 m, a partir da Avenida Cardoso de Sá até a Avenida Guararapes, sendo sua extensão desde a Avenida Ricardo Soares Coelho até as proximidades do Iate Clube de Petrolina. Dentre as dificuldades encontradas em Petrolina, destaca-se a existência de ruas sem placas de identificação e incoerências entre as informações dos mapas coletados e a verdade terrestre.

Em Juazeiro, o levantamento cobriu uma faixa de aproximadamente 500,00 m, desde a orla fluvial até o Terminal Rodoviário de Integração, com sua extensão compreendida entre a Captação do SAAE e a Avenida Flaviano Guimarães, no Bairro do Cajueiro. Foram confirmadas também ruas próximas ao Campus Universitário da UNEB e ao Curtume Campelo, no Bairro de São Geraldo. A principal dificuldade encontrada no levantamento de Juazeiro foi a presença de quadras e ruas inexistentes (apenas projetadas) no mapa de referência, bem como a existência de ruas sem placas de identificação.

Quanto à apresentação do mapeamento, os mapas das áreas críticas serão apresentados na escala de 1:2.000, a fim de permitir a visualização adequada dos resultados (ANEXO 9).

5. CONCLUSÕES

Neste item as conclusões do trabalho para os dois enfoques considerados: **Mapeamento Regionalizado** e **Mapeamento Detalhado** são apresentados a seguir.

5.1 Mapeamento Regionalizado

O Mapeamento Regionalizado das áreas inundáveis do Rio São Francisco para os patamares de 2.000 e 6.000 m³/s, mostrou que as linhas d'água se sobrepõem em diversos trechos ao longo do perímetro do rio, indicando que o mesmo está inserido em sua calha principal nesses locais, como pode ser observado nos mapas apresentados nos **ANEXOS 1 a 8**.

O grande número de captações afetadas pela descarga de 6.000 m³/s deve-se ao fato de estarem instaladas dentro da calha do rio. Quanto às ilhas, as de maior porte não sofrem inundações, sendo as menores mais susceptíveis, com algumas sendo totalmente submersas pela vazão de 6.000 m³/s.

Nos trechos onde não ocorreram sobreposições, ou seja, onde houve um espraçamento pouco significativo do rio para a vazão de 6.000 m³/s, foram observados os seguintes aspectos:

- ✓ Município de Sobradinho - BA:
 - O ponto mais sensível é a tomada d'água do antigo acampamento da construção da barragem de Sobradinho.
 - Inundação parcial de áreas cultivadas em vários pontos ao longo do rio.

- ✓ Município de Petrolina - PE:
 - Os pontos mais sensíveis à descarga de 6.000 m³/s são as ilhas, principalmente os balneários, como o da Ilha do Rodeadouro e o da Ilha do Jenipapo.
 - Há pontos de travessia de barcos que também são afetados.
 - Inundação parcial de áreas cultivadas em alguns pontos ao longo do rio.
 - Inundação de captações d'água.
 - Inundação parcial de áreas de lazer do Hotel de Trânsito de Oficiais do Exército.
 - Inundação parcial por refluxo das galerias de águas pluviais na área de estacionamento da orla.
 - Inundação da parte mais baixa do terreno do Iate Club de Petrolina.

- ✓ Município de Juazeiro – BA:
 - Inundação parcial de áreas de plantios diversos, chácaras, fazendas e projetos agrícolas, devido à proximidade da calha principal do rio.
 - Inundação do balneário e bares do povoado do Rodeadouro.
 - Inundação parcial de áreas de lazer de residências.
 - Inundação parcial do parque aquático do Country Club Ilha Bela.
 - Inundação da captação fixa (uma bomba) do SAAE - Abastecimento da cidade de Juazeiro.
 - Inundação parcial da orla fluvial, no trecho entre a Capitania dos Portos e a Ponte Presidente Dutra (pista de *cooper* e campo de futebol).
 - Inundação de casas no Angary, localizadas entre a calha do rio e o cais de proteção da cidade.
 - Inundação parcial de áreas cultivadas em vários pontos ao longo do rio.
 - Inundação de captações d'água.

- ✓ Municípios de Lagoa Grande – PE, Abaré – BA, Santa Maria da Boa Vista – PE, Curaçá – BA, Orocó – PE, Cabrobó – PE e Belém do São Francisco - PE:
 - Inundação de captações d'água.
 - Inundação parcial de áreas cultivadas em vários pontos ao longo do rio.

- ✓ Município de Santa Maria da Boa Vista - PE:
 - Inundação de áreas de olarias artesanais (parte baixa) a montante do centro.

- ✓ Município de Curaçá - BA:
 - Inundação total do Balneário da Ilha da Coroa.

Abaixo, apresenta-se a **Tabela 11** contendo a localização dos pontos de referência, listados por município, com a identificação dos maiores afastamentos, medidos no sentido transversal ao rio, entre as linhas d'água mapeadas. Os valores de distâncias aproximadas apresentados contêm um erro de $\pm 30,00$ m, oriundo das imagens de satélite *CBERS-2/CCD* e do *RADARSAT-1*. Ressalta-se que tais valores são apenas referenciais, uma vez que foram medidos diretamente sobre a imagem de satélite, não possuindo portanto, a precisão de um levantamento topográfico.

Citados pontos de referência estão situados em áreas rurais, com exceção de Santa Maria da Boa Vista, como pode ser constatado no Mapeamento do Uso e Ocupação do Solo (**ANEXOS 5 a 8**). Salienta-se que na confecção da referida tabela não foram considerados os afastamentos nas ilhas e nos pontos de ocorrência de barramentos na foz dos afluentes.

MAIORES AFASTAMENTOS ENTRE AS LINHAS D'ÁGUA DE 2.000 m³/s E 6.000 m³/s				
MUNICÍPIO	UF	DISTÂNCIA APROXIMADA (m) ± 30,00	LOCALIZAÇÃO	
			LATITUDE	LONGITUDE
SOBRADINHO	BA	308	-40.804660	-9.448128
JUAZEIRO	BA	512	-40.662138	-9.478151
CURAÇÁ	BA	419	-39.897149	-8.862906
ABARÉ	BA	335	-39.255004	-8.622128
PETROLINA	PE	239	-40.547488	-9.430345
LAGOA GRANDE	PE	145	-40.190669	-9.066715
SANTA M. DA B. VISTA	PE	345	-39.690662	-8.783046
OROCÓ	PE	443	-39.643178	-8.638205
CABROBÓ	PE	215	-39.312501	-8.518313
BELÉM DO S. FRANCISCO	PE	790	-39.220543	-8.667566

Observação: Os valores de distâncias aproximadas são apenas referenciais, uma vez que foram medidos diretamente sobre a imagem de satélite. Portanto, não possuem a precisão de um levantamento topográfico.
FONTE: CHESF – 2008.

Tabela 11 - Maiores afastamentos entre as linhas d'água de 2.000 m³/s e 6.000 m³/s

5.2. Mapeamento Detalhado

O Mapeamento Detalhado mostrou que as cidades de Petrolina e Juazeiro estão protegidas pelo cais para os patamares das vazões levantadas (2.000, 4.000, 6.000 e 8.000 m³/s), com exceção do Angary e da orla fluvial em Juazeiro, que se encontram abaixo do cais de proteção da cidade, conforme mapas do **ANEXO 9**.

Segundo o estudo realizado, a primeira residência do Angary começa a ser inundada, em virtude de sua indevida localização, com vazões da ordem de 4.100 m³/s, conforme **Figura 04** abaixo.



Figura 04– Primeira residência do Angary alcançada pela linha da cota 361,75 m, correspondente à vazão de 4.106 m³/s, sobre imagem do satélite QUICKBIRD.

Também foi constatado que, a quadra poliesportiva, pertencente ao Condomínio do Edifício *Champs Elysees*, imediatamente a jusante do Angary, está localizada dentro da calha secundária do rio, estando sujeita a inundações a partir de vazões de aproximadamente $3.600 \text{ m}^3/\text{s}$, correspondente à cota de 361,44 m, referenciada ao IBGE, como mostrado na **Figura 05** e na **Foto 05**.



Figura 05 – Linha d'água referente à cota de 361,44 m, correspondente à vazão de $3.600 \text{ m}^3/\text{s}$, sobre imagem do satélite *QUICKBIRD*.



Foto 05 – Situação da quadra poliesportiva, pertencente ao Condomínio do Edifício *Champs Elysees* no dia 04/02/2007, com vazão média diária de $4.984 \text{ m}^3/\text{s}$, registrada pelo posto hidrométrico de Juazeiro – BA.

Quanto à orla fluvial de Juazeiro, entre a Capitania dos Portos e a Ponte Presidente Dutra, a pista de *cooper* começa a ser inundada a partir da cota 361,10 m, que corresponde à vazão de 3.164 m³/s, conforme **Figura 06**. O campo de futebol sofre inundação completa de sua área com vazões a partir de 6.000 m³/s. As **Fotos 06** e **07**, abaixo, mostram a orla fluvial de Juazeiro com vazões superiores a 6.000 m³/s.



Figura 06 – Linha d'água referente à cota de 361,10 m, correspondente à vazão de 3.164 m³/s, sobre imagem do satélite *QUICKBIRD*.



Foto 06 – Situação da orla fluvial no dia 09/02/2007, com vazão média diária de 6.083 m³/s, registrada pelo posto hidrométrico de Juazeiro – BA.



Foto 07 – Situação da orla fluvial no dia 10/02/2007, com vazão média diária de 6.285 m³/s, registrada pelo posto hidrométrico de Juazeiro – BA.

É importante observar a possibilidade da ocorrência de refluxo do esgoto e galerias pluviais que despejam no Rio São Francisco (para patamares de vazão superiores a 8.000 m³/s na cidade de Juazeiro) e a vulnerabilidade da captação fixa do SAAE em Juazeiro, para defluências de Sobradinho superiores a 5.500 m³/s, conforme registrado no período úmido 2006/2007 e mostrado pela **Foto 08**.



Foto 08 – Situação da captação fixa do SAAE no dia 07/02/2007, com vazão média diária de 5.518 m³/s, registrada pelo posto hidrométrico de Juazeiro - BA.

Abaixo são apresentadas fotos da orla fluvial de Petrolina – PE, contrastando os períodos de baixas e altas vazões. A **Foto 09** mostra a situação da orla em um período de baixa vazão, no dia 30/01/08, com vazão média diária de 1.248 m³/s, registrada pelo posto hidrométrico de Juazeiro – BA.

Conforme **Foto 10** e **ANEXO 9**, a cidade de Petrolina deverá apresentar inundação parcial da área de lazer da sua orla, devido à passagem da água do rio pelas galerias pluviais, quando da ocorrência de vazões iguais ou superiores a 6.000 m³/s. Entretanto, mesmo para defluências de até 8.000 m³/s, as residências localizadas no perímetro urbano não são atingidas.

Devido ao fato de ter avançado para dentro da calha do rio, a área de lazer externa do Hotel de Trânsito de Oficiais do Exército – Petrolina, será inundada a partir de vazões iguais ou superiores a 4.000 m³/s, como mostra a **Foto 11**.



Foto 09 – Situação da orla fluvial de Petrolina – PE, no dia 30/01/08, com vazão média diária de 1.248 m³/s, registrada pelo posto hidrométrico de Juazeiro – BA.



Foto 10 – Situação orla fluvial de Petrolina – PE, no dia 09/02/07, com vazão média diária de 6.083 m³/s, registrada pelo posto hidrométrico de Juazeiro – BA.



Foto 11 – Situação do Hotel de Trânsito de Oficiais em Petrolina – PE, no dia 03/02/07, com vazão média diária de 4.696 m³/s, registrada pelo posto hidrométrico de Juazeiro – BA.

Quanto ao Balneário da Ilha do Rodeadouro, foram mapeadas as linhas d'água para as vazões de 1.331 m³/s e 2.100 m³/s, que não representam risco de inundação às edificações ali construídas (**Foto 12** e **ANEXO 10**). Conforme já explicitado no item 4.2.5, com base no acervo fotográfico da CHESF, a partir da defluência de 3.000 m³/s, a exploração comercial do balneário começa a ficar comprometida (**Foto 02 e Foto 12**).



Foto 12 – Situação do Balneário da Ilha do Rodeadouro no dia 28/10/05, com defluência média diária da Usina de Sobradinho 2.267 m³/s.

Importante salientar que os resultados e conclusões desse trabalho são válidos para a verdade terrestre até abril de 2008, época do último levantamento de campo. Caso ocorram modificações no terreno e/ou no leito do rio, assim como construção de novas edificações e/ou mudanças nas formas de uso e ocupação do solo, novos estudos serão necessários para avaliar e quantificar as alterações.

6. RECOMENDAÇÕES

As elevações de nível dos rios são acontecimentos periódicos, não podendo ser totalmente controlados pelo homem e, portanto, a ocupação das planícies de inundação necessita ser reordenada e devidamente fiscalizada pelos órgãos competentes.

Os resultados obtidos a partir deste trabalho contribuirão para que as Prefeituras possam demarcar, ordenar e fiscalizar o uso das áreas onde há risco de inundação. Sendo recomendável o uso do mapeamento das planícies de inundação, anexos do relatório, como subsídio para o direcionamento das expansões urbanas, bem como na elaboração de Planos Diretores dos Municípios, com a definição dos tipos de ocupação adequados para as áreas de maior ou menor risco à inundação.

O mapeamento é também um insumo a ser utilizado, pelo Poder Público, para a elaboração de Planos de Defesa Civil, que estabelecerão ações individuais e coletivas

para minimizar os transtornos na época de elevação de vazões durante os períodos úmidos.

Para isso, é crucial que sejam elaborados os já referidos Planos Diretores com a definição dos tipos de ocupação adequados para as áreas de maior ou menor risco à inundação. Para aqueles municípios que já possuem Plano Diretor, há que se verificar seu cumprimento e/ou adequação.

Além das recomendações destacadas acima, é importante que haja uma sensibilização das entidades competentes no sentido de:

- ✓ Monitorar as áreas urbanas ribeirinhas para garantir o cumprimento dos Planos Diretores;
- ✓ Relocar as ocupações ilegais existentes nas margens e leito do rio;
- ✓ Melhorar as condições operacionais das captações de água bruta do SAAE em Juazeiro – BA, adequando-as para os níveis de vazão a partir de 6.000 m³/s;
- ✓ Melhorar o sistema de esgotamento sanitário e águas pluviais das áreas urbanas das cidades de Petrolina e Juazeiro, no sentido de evitar o refluxo gerado pelo barramento dessas águas pelo rio, quando da ocorrência de vazões iguais ou superiores a 6.000 m³/s.
- ✓ Disseminar os informativos da CHESF, principalmente aqueles relativos à operação dos reservatórios durante os períodos úmidos.

7. ANEXOS

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- MONICO, João Francisco Galera. **Posicionamento pelo Navstar-GPS: descrição, fundamentos e aplicações**. São Paulo: Editora UNESP, 2000. 287p.
- GEMAEL, Camil. **Introdução ao Ajustamento de Observações: Aplicações Geodésicas**. Curitiba: Editora UFPR, 1994. 319p.
- Leica Geosystems. **ERDAS Field Guide**. Norcross, Georgia: Geospatial Imaging, LCC, 2005. 705p.
- ARANA, José Milton. **O Uso do GPS nas Determinações de Altitudes Ortométricas**. Geodésia online, Florianópolis, v. 2, 2005. Disponível em: <<http://geodesia.ufsc.br/Geodesia-online/arquivo/2005/02.1/Arana2005.htm>>. Acesso em: 13 setembro 2007.
- BRASIL, Presidência da República, Casa Civil, Subchefia de Assuntos Jurídicos. **Normas Técnicas da Cartografia Nacional**. Decreto Nº 89.817 de 20 de Junho de 1984. Publicado no Diário Oficial da União em 22/06/1984. Disponível em <www.concar.ibge.gov.br>. Acesso em 19/08/2007.
- CÂMARA, Gilberto; MONTEIRO, Antônio Miguel; FUCKS, Suzana Druck; *et. al.* **Análise Espacial e Geoprocessamento**. INPE, 2004.
- CENTENO, Jorge A. Silva. **Sensoriamento Remoto e Processamento de Imagens Digitais**. Universidade Federal do Paraná – UFPR. Curitiba, 2004.
- SILVA, Daniel Carneiro da; DALMOLIN, Quintino. **Avaliação da Resolução de Imagens Digitais para Cadastro**. In: Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, Florianópolis, 1998.
- TEIXEIRA, Amandio Luís de Almeida; CHRISTOFOLETTI, Antonio. **Sistemas de Informação Geográfica – Dicionário Ilustrado**. Editora HUCITEC. São Paulo, 1997.
- FLORENZANO, Teresa Gallotti. **Imagens de Satélite para Estudos Ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.
- MARTINS, Sávio Passos Rodrigues; MENESCAL, Rogério de Abreu; SCHERER-WARREN, Morris; *et. al.* **Utilização de Imagens CBERS para Mapeamento dos Espelhos d'Água do Brasil**. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21 – 26 abril 2007, INPE.
- OBT/INPE, Coordenação de Observação da Terra. **Produtos e Serviços de Observação da Terra**. PNAE-OBT-01-2004. Janeiro, 2004. Versão 1.7. Disponível em: http://www.obt.inpe.br/pnae_obt_2004.pdf>. Acesso em: 12 novembro 2007.

PARADELLA, Waldir Renato; SANTOS, Athos Ribeiro dos; VENEZIANI, Paulo; *et. al.* **Radares Imageadores nas Geociências: Estado da Arte e Perspectivas.** Revista Brasileira de Cartografia Nº 57/01, 2005 (ISSN 1808 – 0936). Disponível em: http://www.rbc.ufrj.br/pdf_57_2005/57_1_09.pdf>. Acesso em: 12 novembro 2007.

ALENCAR-SILVA, Thiago; MAILLARD, Philippe. **Delimitação e Caracterização do Ambiente de Vereda: I. O Potencial das Imagens de RADARSAT-1.** Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21 – 26 abril 2007, INPE.

THRETEK. **Radarsat.** Informações Técnicas.

CORREIA, José Duarte; CRUZ, Carla Bernadete Madureira; MENEZES, Paulo Márcio Leal de; *et. al.* **Contribuição das Imagens CBERS na Atualização do Mapeamento Sistemático Brasileiro na Escala 1:100.000.**

CHESF, ANA. **Acordo de Cooperação Técnica Nº 003/2008**, 09 de abril de 2008.

DIGITALGLOBE, **QuickBird Imagery Products - Product Guide** , 01 de maio de 2006, versão 4.7.1, Disponível em: http://www.digitalglobe.com/digitalglobe2/file.php/511/QuickBird_Imagery_Products-Product_Guide.pdf .

SITE DO CBERS: <http://www.cbers.inpe.br/>

SITE DO RADARSAT: <http://www.space.gc.ca/asc/eng/satellites/radarsat1/>