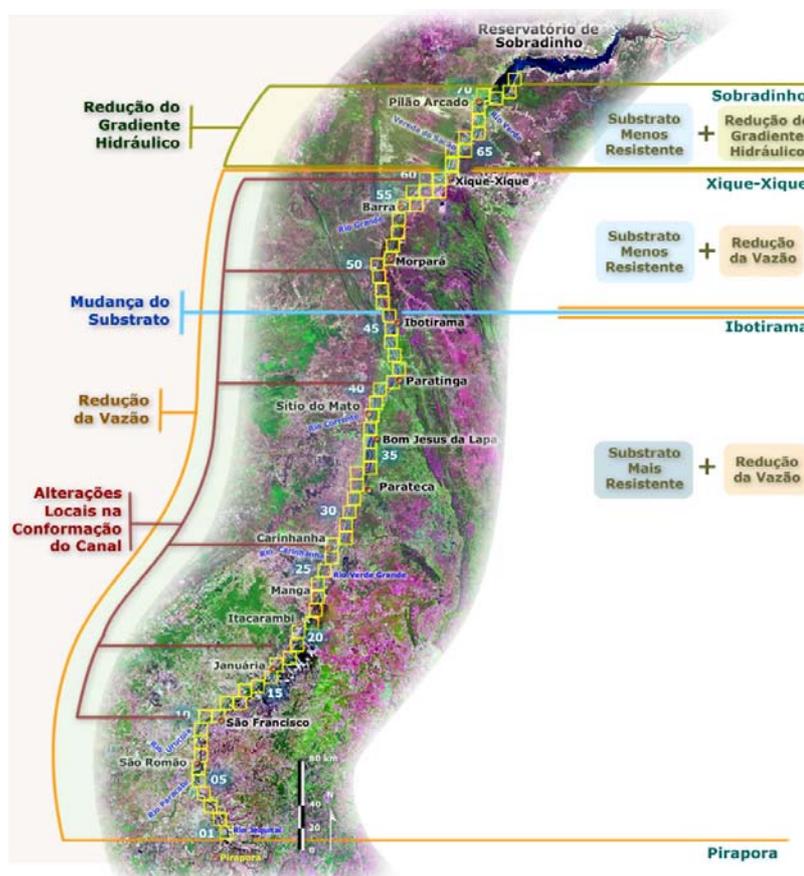


## PROJETO DE GERENCIAMENTO INTEGRADO DAS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS EM TERRA NA BACIA DO SÃO FRANCISCO ANA/GEF/PNUMA/OEA

### Subprojeto 2.2.C – Análise Multitemporal da Dinâmica de Alteração da Conformação do Leito do Rio São Francisco – Trecho Médio



### Resumo Executivo do Relatório Final

### ANÁLISE MULTITEMPORAL DA DINÂMICA DE ALTERAÇÃO DA CONFORMAÇÃO DO LEITO DO RIO SÃO FRANCISCO – TRECHO MÉDIO



CODEVASF

Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba

Brasília - DF

**PROJETO DE GERENCIAMENTO INTEGRADO DAS  
ATIVIDADES DESENVOLVIDAS EM TERRA  
NA BACIA DO SÃO FRANCISCO  
ANA/GEF/PNUMA/OEA**

**Subprojeto 2.2.C – Análise Multitemporal da Dinâmica de Alteração da  
Conformação do Leito do Rio São Francisco – Trecho Médio**

**Resumo Executivo do Relatório Final**

**ANÁLISE MULTITEMPORAL DA DINÂMICA DE  
ALTERAÇÃO DA CONFORMAÇÃO DO LEITO DO RIO  
SÃO FRANCISCO - TRECHO MÉDIO**

**Coordenação do Subprojeto**

Rui Alcides de Carvalho Junqueira

Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba

Ministério da Integração Regional

**Equipe de Consultores:**

Jurema Barbeitos Ribeiro

Albano Henrique de Araújo

Karla Adriana Carneiro Rosa

Francisco Antônio Braga Rolim

**Novembro de 2002**

## RESUMO EXECUTIVO

### INTRODUÇÃO

O presente estudo corresponde ao Subprojeto 2.2.C (Análise Multitemporal da Dinâmica de Alteração da Conformação do Leito do Rio São Francisco – Trecho Médio), parte integrante do GEF – São Francisco, subsidia o Programa de Ações Estratégicas no que se refere a medidas a serem tomadas com relação ao processo erosivo e de sedimentação do leito do rio São Francisco no seu Médio Curso, pois este é o principal trecho navegável do rio.

A conformação do leito de um rio é uma resultante da atuação conjunta de diversos fatores como a pluviosidade (associada ao clima), a disponibilidade de sedimentos, a geologia e a geomorfologia da região cortada pelo canal, entre outros. Em áreas de intensa interferência antrópica, como no caso da maior parte da Bacia do São Francisco, alguns destes fatores podem ser afetados pelas atividades humanas ocasionando, conseqüentemente, alterações na conformação do canal do rio.

Para que se possa avaliar e monitorar estas interferências necessita-se, inicialmente, caracterizar quantitativa e qualitativamente as alterações da conformação do canal ocorridas durante um período de tempo representativo. Esta análise permite definir mudanças na dinâmica natural de alteração do canal e correlacioná-las a fatores externos quando pertinente.

Dentro deste contexto, a análise multitemporal das alterações na conformação do canal é a técnica adequada para possibilitar esta avaliação comparativa.

Esta análise foi feita através da definição da conformação em duas épocas distintas, iniciando-se no final da década de 40, entre os anos de 1946 e 1948, utilizando-se mapas produzidos a partir de aerolevantamentos, até as imagens do sensor ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) do satélite TERRA, lançado em dezembro de 1999 como parte do sistema de observação terrestre da NASA, imagens que forneceram as informações sobre a conformação atual do canal.

Uma vez compreendida e definida esta dinâmica, pôde-se indicar diretrizes para o melhor gerenciamento dos recursos hídricos na Bacia do São Francisco, o que se insere nas metas estabelecidas pelo governo federal, no contexto do Projeto São Francisco.

O Subprojeto 2.2.C tem como objetivo geral determinar a dinâmica de alteração da conformação do leito do rio São Francisco para contribuir na elaboração do Programa de Ações Estratégicas da Bacia do rio São Francisco – PAE, no contexto do Projeto São Francisco (ANA/GEF/PNUMA/OEA).

São objetivos específicos deste subprojeto:

- Determinar a conformação de superfície do leito do rio São Francisco em duas diferentes épocas – entre os anos de 1946 a 1948 e entre 2000 e 2001 (apresentada no capítulo 22 e no Anexo 1 – Resultados do Cruzamento);
- Identificar as alterações ocorridas nesta conformação entre os períodos analisados (apresentada nos capítulos 23 e 28 e no Anexo 1 – Resultados do Cruzamento);
- Estabelecer um modelo de dinâmica de alteração da conformação do canal (discutido no capítulo 28, e sumariado nas Conclusões - capítulo 29);

# 1. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO MÉDIO SÃO FRANCISCO

## 1.1. Localização

A Bacia do São Francisco está dividida em quatro regiões fisiográficas denominadas, no sentido montante-jusante, de Alto, Médio, Sub-Médio e Baixo São Francisco. A Figura 1 apresenta a posição relativa destas quatro regiões.



**Figura 1.** Subdivisão da Bacia do rio São Francisco em regiões fisiográficas.

A região do Médio São Francisco compreende o trecho que se estende de Pirapora, Estado de Minas Gerais (MG), até a cidade de Pilão Arcado, Estado da Bahia (BA), incluindo as sub-Bacias dos afluentes Pilão Arcado a oeste, e do Jacaré a leste e, além dessas, as sub-Bacias dos rios Paracatu, Urucuia, Carinhanha, Corrente, Grande, Verde Grande e Paramirim, situando-se integralmente nos dois Estados citados acima.

A área de estudo do presente trabalho corresponde ao trecho do Médio São Francisco localizado sobre a calha do rio, prosseguindo até jusante de Pilão Arcado, no início do remanso do reservatório de Sobradinho, sendo delimitada pelas coordenadas  $-45^{\circ}30''$  W,  $-17^{\circ}30''$  S e  $-42^{\circ}00'$  e  $-09^{\circ}45'$ . A Figura 2 apresenta a localização da área.

## 1.2. Clima

O clima na região do Médio São Francisco é o subúmido seco e semi-árido, apresentando chuvas de verão (nos meses de novembro a abril) e precipitações médias anuais na faixa dos 600mm na área a leste do lago de Sobradinho, e 1.400mm no limite oeste da Bacia.

Como a área de estudo do presente trabalho se restringe às imediações do São Francisco, observa-se que em sua maior parte, esta área apresenta clima semi-árido, sendo que na porção mais a montante, próxima a Pirapora (MG), ocorre o clima semi-úmido. As características climáticas para a área são apresentadas no Quadro 1.



Figura 2. Localização da área de estudo.

Quadro 1. Valores climáticos das regiões da Bacia do São Francisco. Fonte: DNAEE/1983

Elementos Climáticos	Região			
	Alto	Médio	Sub-Médio	Baixo
Temperatura (°C)	18	27	27	25
Umidade Relativa (%)	76	60	60	73
Evaporação (mm/ano)	2.300	2.900	3.000	2.300
Precipitação (mm/ano)	1.600/1.200	1.600/400	800/350	400/1.300

### 1.3. Cobertura Vegetal

Considerando-se a cobertura original, no Médio São Francisco pode-se encontrar quatro tipos de cobertura vegetal.

- **Floresta Estacional Decidual:** caracterizada pela estacionalidade foliar dos elementos arbóreos dominantes, determinada pelo clima de duas estações bem distintas: uma chuvosa e outra seca, com acentuada variação térmica.
- **Cerrado:** predomina nas regiões de clima úmido e subúmido e de solos de baixa fertilidade. O grande domínio deste tipo de vegetação, que cobre cerca de 33,9% do Vale, está localizado em Minas Gerais e no oeste da Bahia (Alto e Médio São Francisco).
- **Caatinga:** é a vegetação das áreas de clima árido e semi-árido. Predomina na Bahia, Pernambuco e oeste de Alagoas e Sergipe, cobrindo 21,2% do Vale. Fisiograficamente, situa-se no Médio, Submédio e Baixo São Francisco.
- **Zona de Transição Caatinga-Cerrado:** zona que apresenta as características tanto das áreas de Caatinga quanto de Cerrado, gradando de uma para a outra.

### 1.4. Hidrografia

A Bacia possui vasta e densa rede de drenagem, com cursos de água superficiais perenes e intermitentes, sendo estes últimos mais característicos das regiões Sub-Médio e Baixo São Francisco e grande parte da margem direita do trecho Médio.

O rio São Francisco atravessa regiões com condições naturais das mais diversas. As partes extremas superior e inferior da Bacia apresentam índices pluviométricos elevados, enquanto os seus cursos médio e sub-médio atravessam áreas de clima seco. Assim, cerca de 75% do deflúvio do São Francisco é gerado em Minas Gerais, cuja área da Bacia ali inserida é de apenas 37% da área total.

A área compreendida entre a fronteira Minas-Bahia e a cidade de Juazeiro (BA), representa 45% do vale e contribui com 20% do deflúvio anual.

#### 1.4.1 Trechos Navegáveis

O rio São Francisco oferece condições naturais de navegação entre Pirapora-MG e Petrolina-PE/Juazeiro-BA, durante todo o ano, com variação de calado segundo o regime de chuvas.

Devido às diferentes características físicas existentes ao longo deste trecho navegável, dividiu-se em três subtrechos, a saber:

- Pirapora (MG) a Pilão Arcado (BA)
- Pilão Arcado (BA) à Barragem de Sobradinho (BA)
- Sobradinho (BA) a Petrolina (PE)/Juazeiro (BA)

#### 1.4.2 Conformação Geral do Leito

O Rio segue uma direção geral sul-norte até a confluência com o rio Urucuia, onde inicia um grande arco com direção sul-nordeste que muda de inflexão na altura de Morpará e termina próximo à cidade de Cabrobó, girando, então, para sudeste praticamente em linha reta, até a foz.

#### 1.4.3 Principais Afluentes

O rio São Francisco tem 36 tributários, dos quais somente 19 são perenes. Dentre estes, oito têm sua foz na região estudada. Deste total, os formadores mais importantes são os da margem esquerda, onde o primeiro, de montante a jusante, é o Paracatu, com 45.203 km<sup>2</sup> de bacia. Em seguida aparece o rio Urucuia, com 25.406 km<sup>2</sup> de bacia.

A jusante segue o rio Carinhanha, com 17.028 km<sup>2</sup> de bacia. Em seguida surge o rio Corrente, com 34.253 km<sup>2</sup> de bacia. E por último tem-se a bacia do rio Grande, com 78.491 km<sup>2</sup>, que se constitui a maior sub-bacia do São Francisco.

Na margem direita os principais tributários, de montante a jusante, são os rios Paraopeba, das Velhas, Jequitaiá e Verde Grande. O rio Paraopeba tem uma bacia de 13.910 km<sup>2</sup>, desembocando diretamente no reservatório de Três Marias.

O Rio das Velhas é o tributário mais importante da margem direita, a jusante de Três Marias, com uma bacia de 27.897 km<sup>2</sup>. A jusante tem-se o Jequitaiá, com uma bacia de 8.570 km<sup>2</sup> e o Verde Grande com 31.321 km<sup>2</sup>.

#### **1.4.4 Barragens de Acumulação**

No trecho estudado da Bacia, foram implantadas duas grandes barragens de acumulação. A represa de Três Marias, construída pela antecessora da CODEVASF (CVSF – Comissão do Vale do São Francisco), iniciou sua operação em 1961, e regulariza as vazões do Alto São Francisco, dos afluentes a montante da cidade de Três Marias, em Minas Gerais.

Essa regularização tem efeitos até as proximidades da cidade de Pirapora, em Minas Gerais. Acumula um volume máximo de 19.528 hm<sup>3</sup>, na cota 568,3 m (sobre o nível do mar), inundando uma área de 1.022 km<sup>2</sup>.

A jusante está a barragem de Sobradinho. Construída pela CHESF, iniciou sua operação em 1979. Regulariza as vazões dos principais afluentes do São Francisco. Armazena um volume máximo de 34.116 hm<sup>3</sup> na cota 392,5 metros (sobre o nível do mar), inundando uma área de 4.214 km<sup>2</sup>. O remanso do seu reservatório é definido até a seção localizada na cidade de Xique-Xique, na Bahia.

Existem várias dezenas de pequenos barramentos distribuídos nos sub-afluentes da região hidrográfica estudada, com acumulações individuais inferiores a 2 hm<sup>3</sup>.

#### **1.4.5 Análise de Perfis Transversais**

Por ser de fundo móvel, o canal navegável muda de posição. A análise de perfis transversais referentes a épocas distintas ressalta esta mobilidade do fundo, conforme pode ser visto na Figura 7 que mostra dois momentos de batimetria da seção do rio São Francisco na estação fluviométrica da cidade de São Francisco.

Nota-se que entre 1973 e 1983 houve uma grande mudança no perfil, com uma extensa área de sedimentos localizados próximo à margem direita sofrendo erosão e estando ausentes no segundo perfil. Esta diferença marcante entre os dois períodos pode estar associada a profundas modificações do canal ocorridas provavelmente durante a grande cheia de 1979 quando, conforme indicado na figura, a cota máxima atingida pelo rio no período foi de 13,48 m.

O nível mais baixo observado para este local desde o início das medições ocorreu em setembro de 1958, quando foi registrada uma cota de 1,04 m.

#### **1.4.6 Grandes Cheias**

As grandes cheias que inundam as planícies aluvionares podem modificar a conformação do leito do rio. A bacia do São Francisco, nesse trecho, experimentou quatro grandes cheias que ocorreram nos anos de 1919, 1926, 1979 e 1949, por ordem de grandeza.

Os aportes de água oriundos das sub-bacias que desaguam ao longo do rio São Francisco no trecho estudado não é uniforme. Uma correlação entre os picos máximos de vazões anuais observados em Pirapora e em São Francisco mostra que, em média, a descarga neste último representa mais do dobro daquele. Neste trecho, entre Pirapora e São Francisco, o rio recebe a contribuição dos três maiores afluentes, Rio das Velhas, Paracatu e Urucuia.

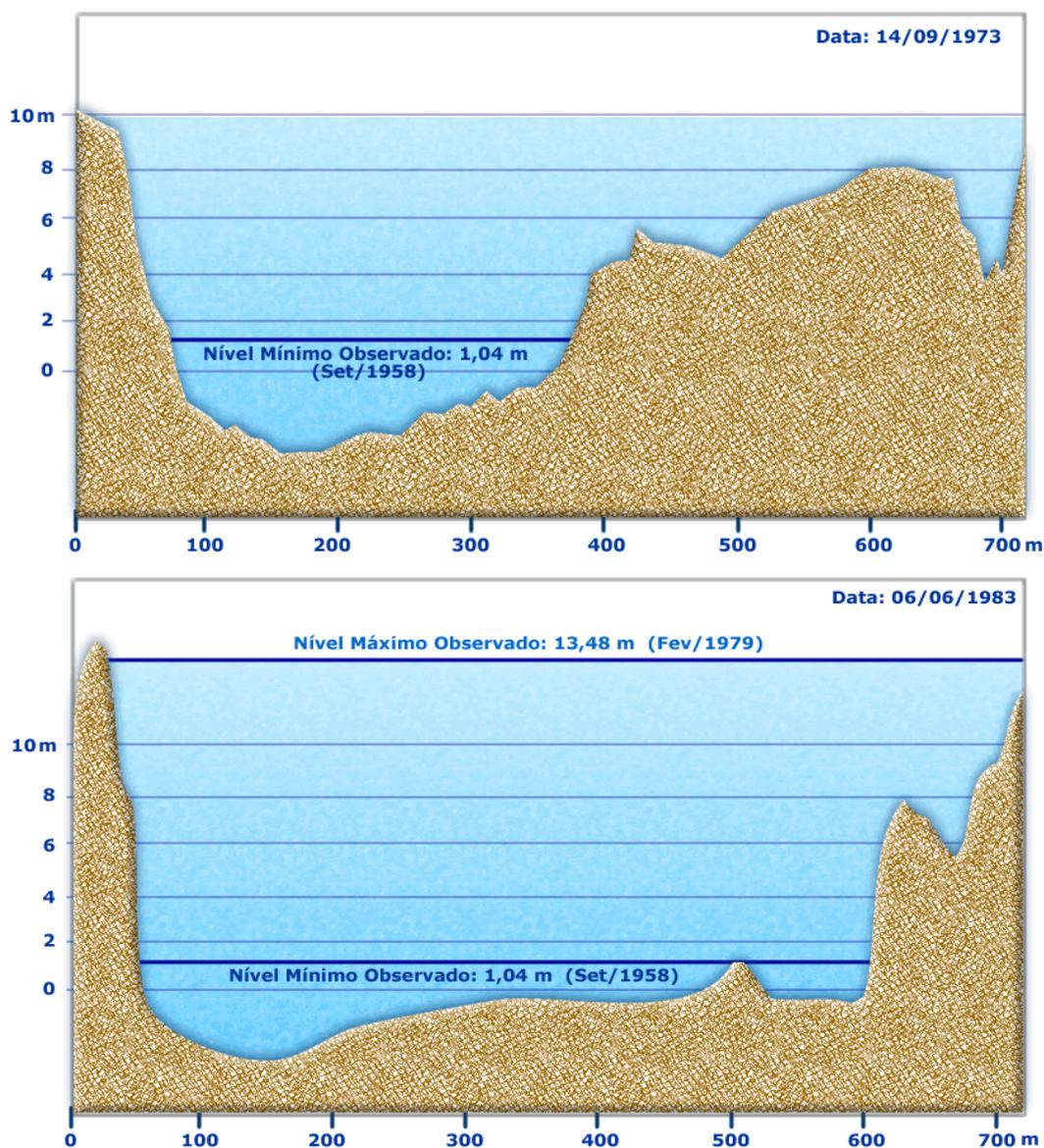


Figura 7. Perfis transversais do rio São Francisco na cidade de São Francisco, obtidos em 14/09/1973 e 06/08/83 (Exagero vertical – 20x).

- **Série Histórica Disponível**

Para realizar a análise das cheias ocorridas no trecho estudado utilizou-se dados de vazões e níveis médios diários de estações fluviométricas operadas pela CHESF e com período de observação incluindo duas grandes cheias, ou seja, 1949 e 1979.

Utilizou-se também de uma cheia aleatória (1983) com vazões de pico superiores a 8.000 m<sup>3</sup>/s (considerada que gera transbordamento do primeiro leito do rio) para auxiliar a análise.

- **Cruzamento de Informações Sobre Eventos Críticos Hidrológicos e Mudanças na Conformação do Leito**

Procurou-se analisar o comportamento do caminhamento do pico da cheia ao longo do trecho estudado, buscando encontrar onde ocorre laminação dos volumes escoados. Esse efeito é ocasionado pelo transbordamento do leito menor do rio, possibilitando que um grande volume de água escorra sobre as planícies aluvionares, resultando numa diminuição da velocidade de escoamento da cheia e o conseqüente armazenamento temporário de parte do volume de água do hidrograma da cheia, ou seja, ocasionando o achatamento do hidrograma, que é o efeito de laminação.

As seqüências dos hidrogramas das três cheias analisadas (A Figura 11 apresenta um exemplo para a cheia de 1949) mostram que entre São Romão e São Francisco não existe diferença na forma dos hidrogramas. Os picos são semelhantes diferenciando apenas na magnitude das vazões.

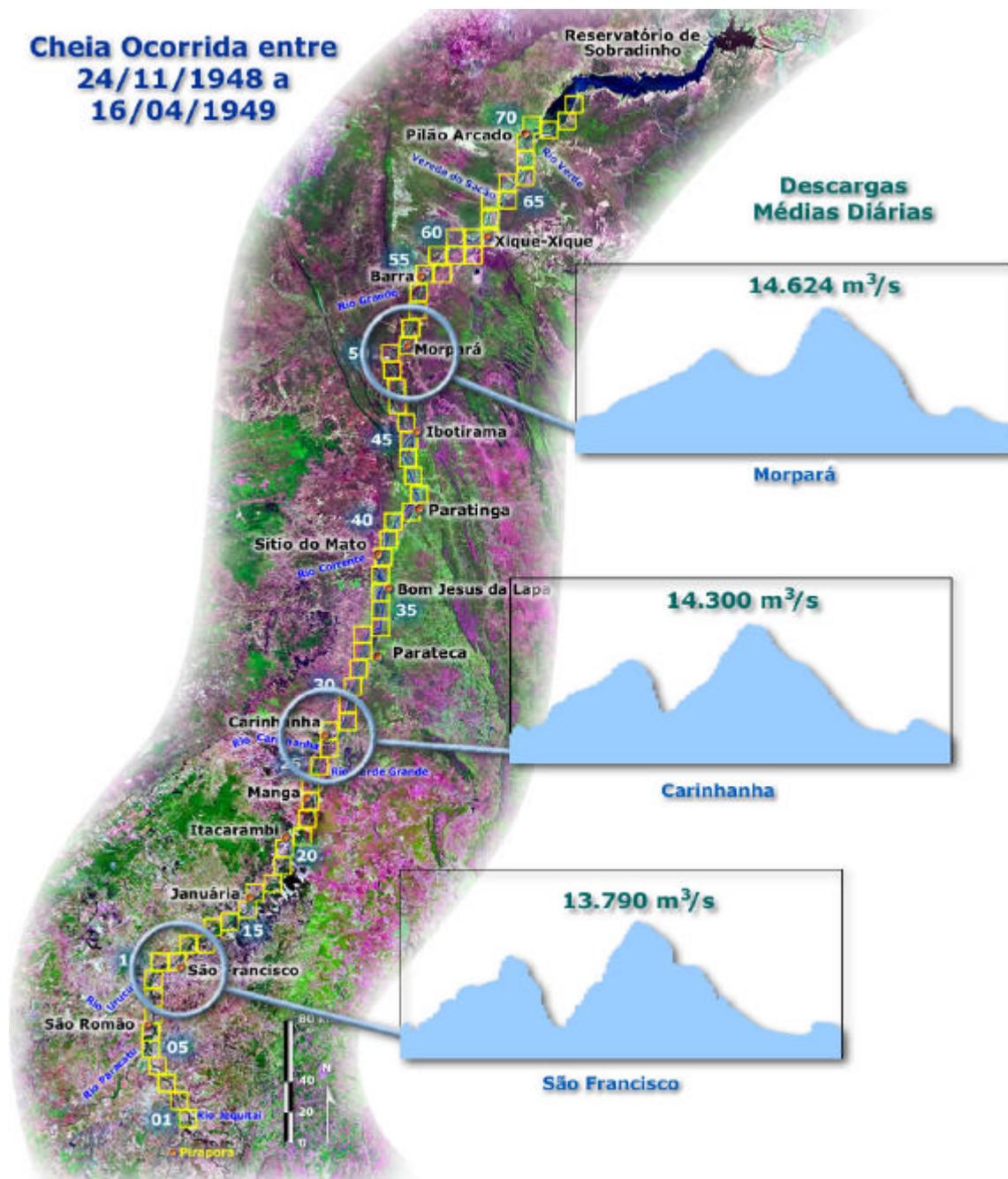


Figura 11. Descargas médias diárias para a cheia ocorrida entre 24/11/1948 a 16/04/1949.

Essa característica indica que os hidrogramas são conduzidos sem amortecimento, e o aumento das vazões pode ser explicado pelo fato de que entre estas duas estações de medição existe o aporte do rio Urucuia. Nesse trecho, o canal do rio era profundo o bastante para que essas cheias analisadas não avançassem sobre a planície aluvionar.

Entre São Francisco e Carinhanha as seqüências dos hidrogramas já mostram um efeito de laminação, inclusive verifica-se na pequena cheia de 1983 uma diminuição do pico, ou seja um achatamento do hidrograma de cheia. Essa é a característica de amortecimento. Esse efeito acentua-se no trecho seguinte, entre Carinhanha e Morpará.

Espera-se encontrar nesses sítios mudanças mais bruscas da calha do rio, quando da comparação das cartas topográficas do fim da década de 40 e as imagens de satélite de 2000 e 2001.

As mudanças encontradas na conformação do leito são mais acentuadas a jusante de São Francisco, confirmando a hipótese do transbordamento do leito menor e o poder das cheias de provocar alterações mais bruscas do canal.

## **1.5. Geologia**

Como uma visão geral da geologia da área de estudo e de suas imediações, apresenta-se uma abordagem do ambiente geológico da Bacia do sentido de montante (ou Alto) para jusante (Médio), das unidades geológicas ou seqüências, já que são as formações geológicas de maior interesse para obtenção de dados relativos à geologia, geomorfologia, tipos de solo e vegetação para os estudos geomorfológicos e sedimentológicos a serem desenvolvidos.

### **1.5.1 Complexo dos Terrenos Migmatítico-Granulitos, Granitóides e Granito-Greenstone Não-Diferenciados, Total ou Parcialmente Retrabalhados nos Ciclos Transamazônico e Brasileiro**

Este Complexo corresponde à seqüência 7 do Mapa da Figura 15 e compreende uma associação de rochas polimetamórficas de médio e alto grau, de idade suposta do Período Arqueano (Pré-Cambriano), de unidades migmatíticas dobradas e gnaisses metatéticos. Com menos frequência ocorre rochas de composição granítica mais homogêneas que cortam os migmatitos em contatos intrusivos.

### **1.5.2 Seqüências Vulcano-Sedimentares do Tipo Greenstone-Belt Diferenciadas**

Correspondem à Seqüência 8 do Mapa da Figura 15 e são compostas por unidades geológicas de baixo e médio grau metamórfico e encontram-se encaixadas em complexos migmatíticos Arqueanos na região do Quadrilátero Ferrífero e adjacências, mostrando-se pouco afetadas por retrabalhamentos metamórficos.

### **1.5.3 Coberturas e Faixas de Dobramentos, do Período Proterozóico**

Correspondem à Seqüência 2 do Mapa da Figura 15 e se correlacionam às formações geológicas do Grupo Bambuí, subgrupo Paraopeba, Formação Três Marias, Formação Jequitaiá; Grupo Una; e Formação Bebedouro, com abrangência, no trecho em estudo da Bacia, nos estados de Minas Gerais e Bahia.

### **1.5.4 As Coberturas Fanerozóicas**

Correspondem à Seqüência 1 do Mapa da Figura 15 e são as principais responsáveis, em termos quantitativos, pelo volume ou vazão de água que contribui para perenização do rio São Francisco no trecho em estudo.

Suas características dimensionais e hidrogeológicas, somadas à climatologia, cobertura vegetal e de solos, no contexto da Bacia, permitem maior capacidade de armazenagem e facilidade posterior de liberar água (transmissividade), contribuindo em maior grau para perenização do rio São Francisco (devido à descarga de base destes aquíferos), que é do tipo efluente.

### **1.5.5 Comentários Sobre a Relação Entre a Geologia e a Produção de Sedimentos na Bacia**

#### **▪ Alto São Francisco**

A característica geológica deste trecho é influenciada pelas formações e maciços rochosos com deformações, dobras, falhas, abatimentos e soerguimentos que provocaram a formação de um complexo conjunto de cadeias montanhosas, formando estruturas com configuração diversificada nas formas e tipos de rochas.

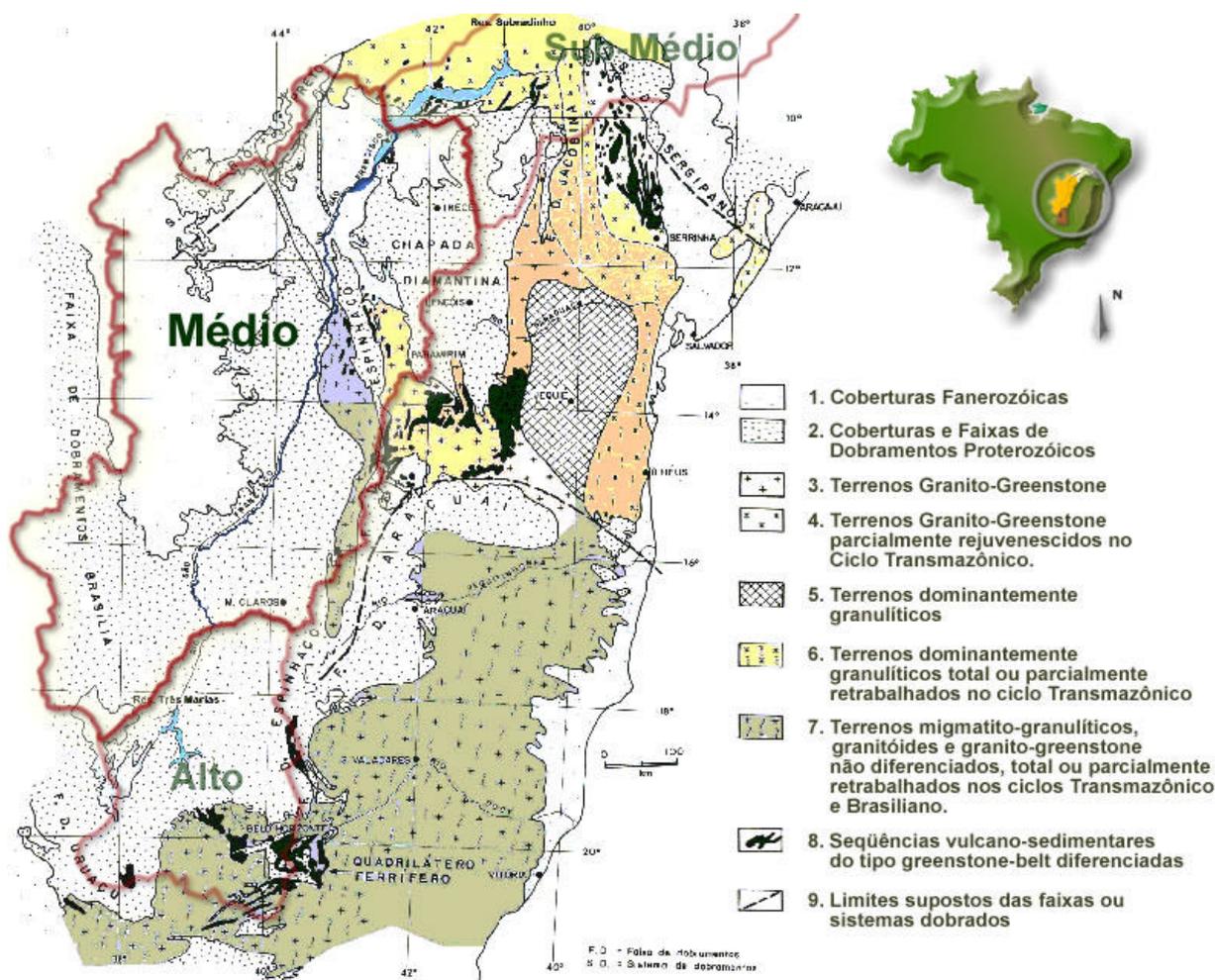


Figura 15. Cráton Sanfranciscano. Fonte: Geologia do Brasil/DNPM (1984) – Modificado: Braga Rolim, F. A.

O padrão geológico do trecho Alto faz desta região a mais importante como *fornecedora* de sedimentos para o leito dos rios, pois as rochas destas formações geológicas são consideradas muito antigas, com idade em torno de 450 milhões de anos.

Rochas *velhas* (*antigas*), localizada em *zona esclerosada* ou perturbada tectonicamente tendem a desintegrar-se ou alterar-se em velocidade mais elevada se comparado às rochas de idade mais nova, já que os grãos minerais estão menos coesos, mais fragmentados, sendo mais fácil a remoção por processos erosivos.

Isto significa que maior quantidade de detritos sólidos são liberados das rochas e, desta forma, é fornecido grande volume de sedimentos para os leitos dos rios. Aliado à geologia favorável, tem-se o clima e o relevo, condicionantes naturais para atuação dos processos erosivos.

#### ▪ Médio São Francisco

A característica geológica marcante é de uma bacia sedimentar, com topografia pouco acidentada, inserida em região de depressões com baixo gradiente hidráulico, que favorece a sedimentação do material originado dos processos erosivos, em especial os provenientes das sub-bacias do Alto São Francisco.

Constitui-se em região mais receptora e acumuladora dos sedimentos, com elevado grau de assoreamento. Nesse contexto, há facilidade para acúmulo de elevadas cargas de sedimentos ao longo das margens e calhas dos rios, especialmente do São Francisco.

Estes sedimentos, normalmente são inconsolidados, fáceis de serem erodidos e transportados pelo fluxo normal de água, e em maior intensidade nos períodos de chuvas, o que provoca

processos erosivos contínuos nas margens dos rios, com frequentes mudanças na forma do leito e das margens.

Suas características dimensionais e hidrogeológicas, somadas à climatologia, cobertura vegetal e de solos, no contexto da bacia, permitem maior capacidade de armazenagem e facilidade posterior de liberar água (transmissividade).

## 1.6. Geomorfologia

Para esse trabalho, são descritas as principais feições e tipos geomorfológicos atualmente dominantes nas regiões do Alto e do Médio São Francisco, considerando-se que um domínio geomorfológico compreende as macroestruturas do relevo fisionomicamente semelhantes em seus tipos de formas e feições.

### 1.6.1 Geomorfogênese das Regiões do Alto e Médio São Francisco

Em termos gerais, o leito do rio São Francisco percorre zonas de terrenos encaixados, com orientação do seu curso seguindo direções preferenciais (falhas geológicas, depressões) e formas de relevos variadas, ou seja, leito encaixado em zonas de montanhas e planaltos, no caso do Alto São Francisco, e leito encaixado em zonas de serras e planícies, na região do Médio.

As bases estruturais e litológicas, associadas a influências dos climas pretéritos, esculpindo níveis de aplainamentos sobre as estruturas, estão impressas na morfologia atual que evidencia compartimentos regionais intimamente relacionados com a história geológica da bacia.

### 1.6.2 Caracterização Geomorfológica do Alto São Francisco

A representação geomorfológica do Alto curso está melhor caracterizada nos domínios morfoestruturais dos Remanescentes de Cadeias Dobradas, nas Depressões Interplanálticas do São Francisco e no Escudo Exposto, cujas subdivisões e descrição sucinta é apresentada no Quadro 3.

**Quadro 3. Representação Geomorfológica do Alto São Francisco.**

<b>Domínio</b>	<b>Região ou Unidade</b>	<b>Características Geomorfológicas</b>
Remanescentes de Cadeias Dobradas	Planaltos da Canastra	Divisor de águas das bacias dos rios São Francisco e Paraná. Formada de topos planos e chapadões elevados.
	Quadrilátero Ferrífero	O relevo se divide em cristas e linhas de cumeadas, com altitudes médias em torno de 1.000 m.
Depressões Interplanálticas	Depressão do Alto São Francisco	Tem o rio São Francisco na parte central de toda a drenagem. Os solos são arenos-argilosos, espessos e de cor vermelho-escura, protegidos pelas florestas remanescentes e cerrados; argilosos, de espessura delgada recobertos por cerrado.
Escudo Exposto	Planalto Centro-Sul de Minas	Relevo dissecado com topografia desnivelada com espesso manto de intemperismo, e cotas entre 500 e 1.000 m.

### 1.6.3 Caracterização Geomorfológica do Médio São Francisco

Na região do Médio São Francisco, as principais unidades geomorfológicas estudadas no Projeto Radambrasil são representadas pelo Domínio das Planícies de Acumulações Recentes, Domínio das Depressões Pediplanadas, Domínio dos Planaltos em Estruturas Sedimentares Concordantes e Domínio dos Planaltos em Estruturas Sedimentares Dobradas. As características destas unidades geomorfológicas estão sintetizadas no Quadro 4.

**Quadro 4. Representação Geomorfológica do Médio São Francisco.**

<b>Domínio</b>	<b>Região ou Unidade</b>	<b>Características Geomorfológicas</b>
Planícies de Acumulações Recentes	Planícies Fluviais	Relevo com baixa declividade, constituído por aluviões (terraços e várzeas)
Depressões Pediplanadas		Relevos com altitudes médias entre 400 e 600 m. Feições predominantes são pediplano com cobertura detrítica, principalmente arenosas, contendo localmente seixos e argilas.
Planaltos em Estruturas Sedimentares Concordantes		Relevo entre 400 e 1.400 m. Predominam os modelados de aplanamento degradados e retocados em diferentes níveis topográficos sobre arenitos da Formação Urucuia e rochas do Grupo Bambuí.
Planaltos em Estruturas Sedimentares Dobradas		Caracteriza-se pela grande variação altimétrica, de 600 a cerca de 1.650 m; contraste entre as feições de estruturas geomorfológicas de dissecação diferencial relacionadas estreitamente com a tectônica (vales e sulcos estruturais, cristas, escarpas) e feições de modelado de aplanamentos degradados e retocados.

#### **1.6.4 Comentários Sobre os Padrões Geomorfológicos das Regiões do Alto e Médio São Francisco**

##### **Alto São Francisco**

É uma região de relevo intercalado com colinas e depressões, onde as primeiras, ao longo dos anos, estão sendo exumadas e dissecadas, e as depressões, preenchidas e funcionando como “*anteparo*” imediato dos sedimentos erodidos e transportados das zonas de cotas mais elevadas, impedindo ou retardando o aporte de grandes volumes de sedimentos para o leito do São Francisco.

Situa-se a partir da borda ou contato das cadeias de montanhas da Serra da Canastra e Serra da Pimenta, onde o rio São Francisco inicia seu percurso, indo desde suas nascentes, até à altura do município de Dorésópolis, no estado de Minas Gerais.

São resultantes da conjunção da atuação de uma morfogênese recente que provocou a formação de depressões nas porções marginais das montanhas, ocorridas no período Cretáceo (de 144 a 65 milhões de anos), e posterior sedimentação, derivada da receptação imediata e contínua do material erodido (sedimentos, detritos) dos Planaltos da Canastra, a oeste, Serra do Cigano, a sul, e Serra da Pimenta, a leste-sudeste.

##### **Médio São Francisco**

A característica física de destaque é a topografia pouco acidentada, inserida em região de depressões com baixo gradiente hidráulico, que favorece a sedimentação do material originado dos processos erosivos, em especial os provenientes das sub-bacias do Alto São Francisco.

Constitui-se em região mais receptora e acumuladora dos sedimentos, com elevado grau de assoreamento. Nesse contexto, há facilidade para acúmulo de elevadas cargas de sedimentos ao longo das margens e calhas dos rios, especialmente do São Francisco.

Estes sedimentos, normalmente são inconsolidados, fáceis de serem erodidos e transportados pelo fluxo normal de água, e em maior intensidade nos períodos de chuvas, o que provoca processos erosivos contínuos nas margens dos rios, com freqüentes mudanças na forma do leito e das margens.

## 2. CARACTERIZAÇÃO SÓCIO-ECONÔMICA DO MÉDIO SÃO FRANCISCO

### 2.1. Divisão Municipal e Demografia

A área de estudo, que corresponde à calha do São Francisco e suas imediações, recobre parte de 32 municípios, sendo 14 no Estado da Bahia e 18 no Estado de Minas Gerais.

O Quadro 7 apresenta um somatório dos valores referentes aos dois Estados. Pode-se notar que, para a área como um todo, houve um aumento de 4,4% da população no período de 1996 a 2000. A população urbana excede a rural em 17,12% e a densidade demográfica é de 7,01 hab/km<sup>2</sup>.

Quadro 7. Resumo da situação demográfica para a área estudada.

Município	População					Área	Densidade (hab/km <sup>2</sup> )
	1996	2000	%	2000			
				Urbana	Rural		
Bahia	354.636	365.265	+3,00	190.626	172.639	60.257,30	6,06
Minas Gerais	281.207	298.925	+6,30	165.499	131.429	34.755,33	8,60
<b>Total</b>	<b>637.839</b>	<b>666.190</b>	<b>+4,44</b>	<b>356.125</b>	<b>304.068</b>	<b>95.012,63</b>	<b>7,01</b>

### 2.2. Transporte

#### 2.2.1 Rodoviário

Na região do Médio São Francisco pode-se encontrar as áreas mais carentes no quesito transporte quando trata-se do vale em geral.

A infra-estrutura de transportes ainda se constitui insuficiente para atender a demanda da região, principalmente quando se refere à área rural. O estado de conservação das rodovias é bastante precário.

#### 2.2.2 Ferroviário

A Ferrovia Centro-Atlântica – FCA – opera uma malha de 7.080 km em bitola métrica, abrangendo os estados de Sergipe, Bahia, Minas Gerais, Goiás, Espírito Santo, Rio de Janeiro e Distrito Federal. Constitui-se na principal ligação da Região Sudeste com as Regiões Nordeste e Centro-Oeste

Em relação à sua área de atuação, a FCA interliga-se às principais ferrovias brasileiras e a importantes portos marítimos e fluviais, com acesso direto aos Portos de Salvador (BA), Aratu (BA) e Vitória (ES), além de Pirapora (MG) e Juazeiro (BA), no rio São Francisco.

#### 2.2.3 Fluvial

Com o seu extremo sul localizado na cidade de Pirapora (MG), a hidrovia do São Francisco é interligada por ferrovias e estradas aos mais importantes centros econômicos do Sudeste, além de fazer parte do Corredor de Exportação Centro-Leste. Ao norte, nas cidades vizinhas a Juazeiro (BA) e Petrolina (PE), a hidrovia está ligada às principais capitais do Nordeste, dada a posição geográfica destas duas cidades.

O principal porto do Médio São Francisco é o de Pirapora (MG), interligado aos portos fluviais de Petrolina (PE) e Juazeiro (BA) e aos marítimos de Vitória (ES), Rio de Janeiro (RJ), Santos (SP), Salvador (BA), Recife (PE) e Suape (PE), através de rodovias e ferrovias.

### **2.3. Saúde**

As condições de saúde vigentes no Médio São Francisco são precárias, principalmente na periferia dos grandes centros e na zona rural, onde se verifica um alto nível de desnutrição e uma elevada ocorrência de doenças infecciosas e parasitárias.

Esta situação é agravada pelas carências ou, até mesmo, pelo elevado grau de deficiência no atendimento médico a nível emergencial, ambulatorial e hospitalar, que predomina na grande maioria dos municípios do médio.

### **2.4. Saneamento**

O saneamento básico na região do Médio São Francisco é precário. No Município de Januária, no Estado de Minas Gerais, apenas 40% da população total está servida pelo sistema público de água.

A falta de acesso a um atendimento básico de saneamento acaba gerando graves problemas de saúde na população que apresenta varias doenças de veiculação hídrica.

### **2.5. Educação**

A área educacional também apresenta sérios problemas em relação a infra-estrutura e qualidade do ensino que é oferecida a população.

O número de estabelecimentos de ensino não atende adequadamente a demanda na região do Médio São Francisco.

### **2.6. Atividades Produtivas**

A atividade agrícola está condicionada à disponibilidade de água e de terras aptas para agricultura. A atividade pesqueira é desorganizada e ainda se utiliza de embarcações e apetrechos rudimentares. Praticamente não se têm estatísticas de pesca na região do Médio São Francisco.

Destaque na região para a indústria de ligas de ferro, fiação e tecelagem, confecção e produtos alimentares na região de Pirapora e para a produção de tomate, indústrias de beneficiamento de milho e café, equipamentos de irrigação, produção de açúcar e álcool nos distritos agro-industriais de Juazeiro e Petrolina.

### **2.7. Turismo**

O turismo no Médio São Francisco apresenta-se limitado a apenas alguns núcleos turísticos:

#### **2.7.1 Núcleo Bom Jesus da Lapa**

A demanda do turismo nessa área é a religiosa. A região está sempre recebendo romeiros de baixa renda, na sua maioria, que se deslocam de caminhões para a cidade de Bom Jesus da Lapa. O turismo apresenta poucas perspectivas de melhora na área, pois como o turista é basicamente de pouco poder aquisitivo, não se tem intenção de uma grande melhora na infra-estrutura de hotelaria.

#### **2.7.2 Núcleo Petrolina-Juazeiro**

A grande atração nessa área fica por conta do Lago Sobradinho que foi construído para regularizar a vazão plurianual do rio São Francisco e evitar inundações de algumas cidades ribeirinhas durante as cheias e diminuir a queda na geração de energia elétrica durante a estiagem. O lago de Sobradinho é, ainda hoje, um dos maiores lagos artificiais do mundo.

### 3. CONSIDERAÇÕES SOBRE A HIDROSEDIMENTOLOGIA NA BACIA DO SÃO FRANCISCO

#### 3.1. Produção e Carreamento de Sedimentos

Devido às características fisiográficas, principalmente geologia, relevo e climatologia, que atuam como fatores exógenos naturais, e atividades desenvolvidas para uso e ocupação do solo (fatores exógenos antrópicos secundários), a bacia do São Francisco possui maior produção de sedimentos em seu alto curso, onde as sub-bacias dos rios Paraopeba e das Velhas são as que apresentam concentrações mais elevadas, conforme pode ser visto na Figura 25.

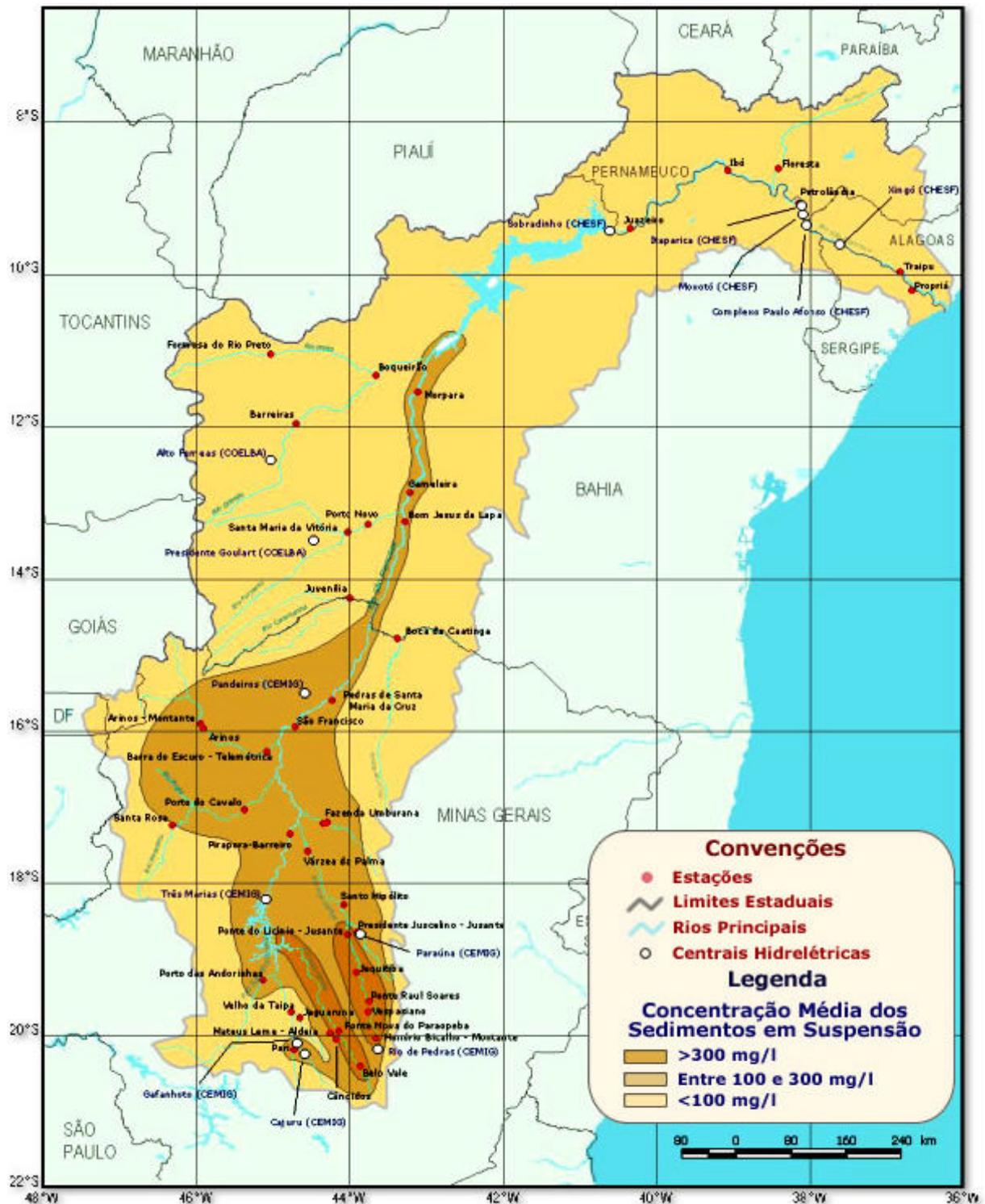


Figura 25. Concentração média dos sedimentos em suspensão nos rios da bacia do São Francisco.

Nota-se que a elevada concentração de sedimentos no leito do rio São Francisco é observada até o remanso do reservatório de Sobradinho. A jusante deste ponto há redução considerável no volume de sedimentos devido à diminuição da velocidade do fluxo de água.

A contribuição de sedimentos para o São Francisco advinda de seus tributários é variável e não está necessariamente ligada à contribuição para a vazão. Conforme pode ser visto na Figura 26, rios como o Paraopeba, das Velhas, Paracatu e Urucuia apresentam uma contribuição para a carga de sedimentos maior que sua contribuição para a vazão.

Por outro lado, os rios Pará, Verde Grande, Carinhanha, Corrente e Grande que juntos contribuem com 32% da vazão do São Francisco, são responsáveis por apenas 7,5% da carga de sedimentos.

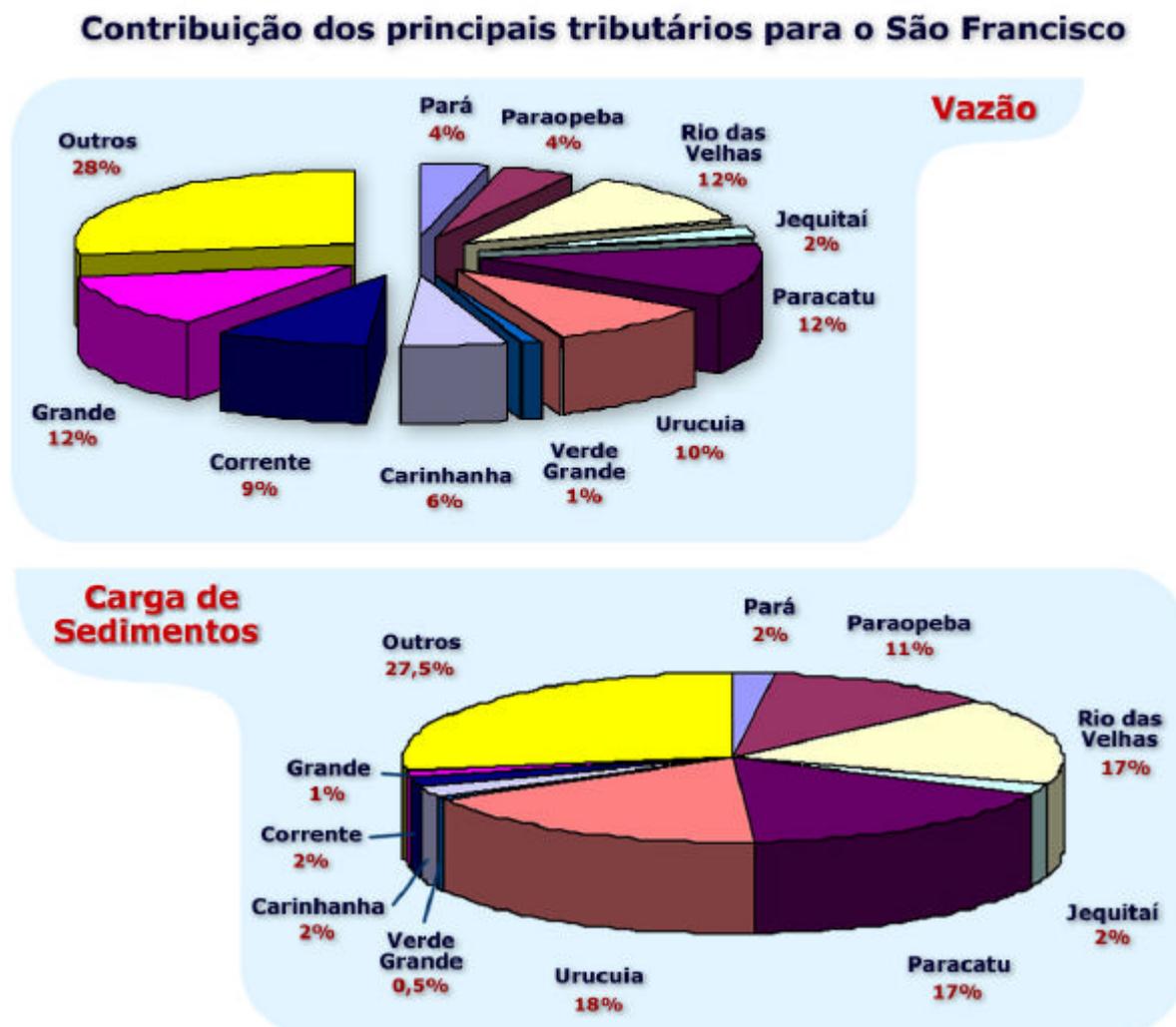


Figura 26. Relação entre a contribuição para a vazão e para a carga de sedimentos dos principais tributários do rio São Francisco.

### 3.2. Declividade Média do Rio São Francisco

A declividade é um dos fatores que interfere tanto na produção quanto na deposição de sedimentos. Quanto maior a declividade, maior a tendência a erosão das margens e a capacidade de transporte dos sedimentos. Com a redução da declividade, tem-se uma tendência ao acúmulo de sedimentos e o assoreamento das margens e do leito.

No rio São Francisco, a declividade apresenta quatro comportamento distintos conforme pode ser visto no Quadro 8.

**Quadro 8. Declividade média do rio São Francisco.**

<b>Trecho</b>	<b>Distância (km)</b>	<b>Declividade (m/km)</b>
Das cabeceiras / Paraopeba	475	0,70
Paraopeba / Pirapora	268	0,20
Pirapora / Santa Maria da Boa Vista	1.312	0,10
Santa Maria da Boa Vista / Itaparica	192	0,23
Itaparica / Piranhas	252	1,60
Piranha / Foz	185	0,50

### **3.3. Resumo do Diagnóstico Sedimentológico da bacia do São Francisco**

O Diagnóstico Sedimentológico foi executado em 1986 e as considerações manifestadas continuam válidas para a atualidade. Ele teve como objetivo geral efetuar uma investigação dos aspectos sedimentológicos da bacia do rio São Francisco, devido aos problemas de erosão e sedimentação ocorridos no leito dos rios da bacia, em especial o rio São Francisco.

Os trabalhos demonstram que o transporte das cargas de sedimentos na calha do rio São Francisco não apresenta uma relação contínua e constante somente com a descarga líquida (vazão), apesar desta ser o parâmetro mais relevante, seguida do relevo, para transporte e deposição de sedimentos para a calha do rio.

Há também dependência com o tipo de solo, tipo e densidade de cobertura vegetal, área de drenagem, tipo e densidade de drenagem, e ainda, interferências com outros fatores como transporte (carreamento) irregular de solos pelas enxurradas, a existência de atividade antrópica com potencial de degradação, nos casos de desmatamentos com queimadas para a agropecuária, e exploração mineral.

As conclusões e recomendações manifestadas no diagnóstico são que, em termos gerais, a produção de sedimento na bacia do São Francisco é pequena, mas as sub-bacias do Alto curso (Paraopeba, Indaiá e das Velhas) apresentam uma degradação indesejável que, mesmo não sendo alarmante, é bastante grande.

Recomenda adoção de providências para diminuir a erosão tanto de caráter específico como de caráter geral, no intuito de complementar e enfatizar as medidas indicadas pela Comissão Interministerial de Controle de Cheias, criada pelo Decreto nº 83.567, de 12/06/1979.

Dentre algumas recomendações enumeradas de caráter específico, cita-se a complementação do inventário dos reservatórios, os estudos aerofotogramétricos para detectar áreas desmatadas e pontos de erosão potencial, a implantação e operação da rede sedimentométrica, estudos de erosão e assoreamento no trecho do baixo curso.

Algumas das recomendações de caráter geral listada são: criação de leis coercitivas que coíbam a exploração da floresta remanescente da bacia; criação de parques florestais; estudos mais aprofundados de causas e riscos de erosão na região do Alto curso; incentivo ao reflorestamento com plantio de espécies nativas e árvores frutíferas e forrageiras objetivando restabelecer o equilíbrio ecológico da bacia.

## **4. CARTAS TOPOGRÁFICAS, IMAGENS DE SATÉLITE E CARTAS TOPOHIDROGRÁFICAS**

### **4.1. Cartas Topográficas**

Para recobrir toda área da calha do rio São Francisco no trecho Médio foram utilizadas 47 cartas topográficas da Divisão de Serviço Geográfico do Exército e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, na escala 1:100.000.

As informações de sistema viário, hidrografia, pontos cotados, assim como toda nomenclatura associada a estes itens foi extraída das cartas topográficas em formato digital disponibilizadas pela CODEVASF e atualizadas com base nas imagens de satélite utilizadas.

#### **4.2. Imagens de Satélite**

Para recobrir toda a área de estudo com imagens recentes e com a máxima resolução possível, optou-se pelo uso das imagens produzidas pelo sensor ASTER, do satélite TERRA. Usou-se a composição RGB/123, onde a vegetação aparece em tons de verde e o solo em tons de magenta.

A água do rio apresentará uma cor dependente de sua carga de sedimentos, podendo variar do azul escuro, quando a carga de sedimentos for pequena, até o magenta, quando a carga for elevada.

#### **4.3. Cartas Topo-Hidrográficas**

Foram utilizadas como referência para a data mais antiga, as cartas topo-hidrográficas do rio São Francisco na escala 1:5.000 disponíveis na Codevasf. As cartas utilizadas foram produzidas na década de 40, entre os anos de 1946 e 1948, pela empresa Serviços Aerofotogramétricos Cruzeiro do Sul S.A. para o 10º Distrito de Fiscalização do Departamento Nacional de Portos, Rios e Canais, pertencente ao Ministério da Viação e Obras Públicas.

Este levantamento cobriu o canal do rio São Francisco e suas imediações desde a cidade de Pirapora (MG) até Petrolândia (PE) e tinha como objetivo gerar uma base detalhada da área para embasar os futuros projetos de implantação de reservatórios artificiais e os sistemas de irrigação.

O levantamento topo-hidrográfico do rio São Francisco constou de um total de 1034 cartas posicionadas sobre a calha do rio e sua planície de inundação, com cada carta cobrindo uma área de 10 km<sup>2</sup> (4 km x 2,5 km).

### **5. DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS CARTOGRÁFICOS E PROCESSAMENTO DAS IMAGENS DE SATÉLITE E DAS CARTAS TOPO-HIDROGRÁFICAS**

#### **5.1. Definição dos Parâmetros Cartográficos**

Os parâmetros cartográficos são os mesmos utilizados nos mapeamentos realizados para as regiões do Alto (Codevasf, 1996), Sub-Médio São Francisco (Projeto GEF São Francisco, 2000), para se obter a padronização paramétrica para toda a Bacia do rio São Francisco.

Desta forma, permanece o sistema de projeção Universal Transversa de Mercator, Datum Horizontal Córrego Alegre, Datum Vertical Marégrafo de Imbituba (SC) e Elipsóide de referência Internacional de 1924. Os mapas produzidos são compatíveis com a escala 1:25.000. A mínima dimensão mapeada é superior a 0,025 km<sup>2</sup>.

#### **5.2. Processamento das Imagens de Satélite**

##### **5.2.1 Características do Sistema TERRA/ASTER**

As imagens produzidas pelo sensor ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer – Radiômetro Espacial Avançado de Reflexão e Emissão Termal), do satélite TERRA, apresentam resolução espacial que varia de 15 m (bandas do infravermelho próximo) a 90 m (bandas do infravermelho termal) e resolução espectral de 14 bandas.

No presente trabalho foram utilizadas as bandas 1, 2 e 3 que fornecem o melhor conjunto de informações para a análise da conformação do leito.

### **5.2.2 Correção Geométrica e Georreferência**

O processo de correção geométrica e georreferência consiste em ajustar o sistema de coordenadas digitais da imagem, (matriz pixel-linha), a um determinado sistema de projeção cartográfica. Desta forma as feições representadas nas imagens são posicionadas de acordo com os controles geodésicos previamente definidos pelo usuário.

### **5.2.3 Realce Linear de Contraste**

O contraste de uma imagem é uma medida do espalhamento dos níveis de cinza que nela ocorrem. Quanto mais espalhados os níveis de cinza ao longo do histograma, maior o contraste e melhor a visualização das formas.

### **5.2.4 Composições Coloridas**

Outra etapa do processo de preparação das imagens para interpretação é a combinação das bandas originais em composições coloridas. Neste processo, as seis bandas disponíveis podem ser combinadas três a três. Em função dos objetivos do trabalho foram utilizadas as bandas 1, 2 e 3 em composição onde a banda 2 foi associada ao canal R (vermelho), a banda 3 ao G (verde) e a banda 1 ao B (azul), o que tecnicamente é chamado de composição RGB/231.

## **5.3. Processamento das Cartas Topo-Hidrográficas**

Devido à antiguidade dos mapas, as informações disponíveis sobre sua confecção são limitadas tanto no que se refere à metodologia de mapeamento (aerolevanteamento, restituição, apoio de campo, etc.) quanto ao estabelecimento dos parâmetros utilizados na projeção cartográfica.

Em virtude disto, o processamento destes mapas passou por algumas etapas adicionais, como a digitalização eletrônica e o “regeorreferenciamento” das cartas com relação à base cartográfica estabelecida para o trabalho. Todas as etapas de processamento são descritas a seguir.

### **5.3.1 Remontagem do Mapa-Índice**

Visto que este mapa-índice original não permitia a visualização do caminhamento do rio, efetuou-se sua digitalização e o desmembramento em partes.

Esta remontagem foi feita com base na coordenada geográfica anotada no próprio mapa. Este processo foi realizado para cada trecho distinto do mapa-índice até se obter a sequência completa.

A partir deste mapa-índice remontado realizou-se a ordenação inicial das cartas e seu posicionamento com relação às bases geográficas de referência, para efetuar-se a seleção das cartas a serem utilizadas.

### **5.3.2 Seleção das Cartas**

Dentro do acervo total composto por 1034 cartas foram selecionadas aquelas que recobriam a área de estudo, correspondendo a todo o trecho Médio e se estendendo até o início do Sub-Médio, onde foi analisada a área do remanso do reservatório de Sobradinho, perfazendo um total de 920 cartas (folhas compreendidas entre os números 100 e 1020, de acordo com a numeração original).

Além desta seleção, dentro desta área definida preliminarmente, foram utilizadas apenas as cartas localizadas sobre a calha do rio e suas imediações, o que reduziu o número para 810 cartas.

### **5.3.3 Digitalização Eletrônica**

Nesta etapa os mapas originais, disponíveis em papel semitransparente, foram digitalizados utilizando-se um scanner LDW-500. Foram realizados testes para definir o melhor formato para a digitalização, levando-se em conta o tamanho dos arquivos gerados.

Baseado nestes testes optou-se por imagens em preto e branco (1 bit) no formato TIFF (Tagged Image File Format) com compactação do tipo Packbits e resolução de 200 dpi (pontos por polegada). O scanner foi ajustado para 25% de brilho, o que oferecia bons resultados para a maioria das cartas.

### 5.3.4 Georreferenciamento e Mosaicagem das Cartas

Foi realizado um georreferenciamento inicial baseado nas coordenadas originais existentes nas cartas. A partir deste georreferenciamento foi possível também corrigir as distorções originadas no processo de digitalização eletrônica.

A carta georreferenciada foi cortada para apresentar apenas a área mapeada (área útil) que seria utilizada nos mosaicos.

Com as cartas georreferenciadas e cortadas foram montados os mosaicos que, para compatibilização com a escala das cartas de referência, foram compostos de grupos de 25 cartas.

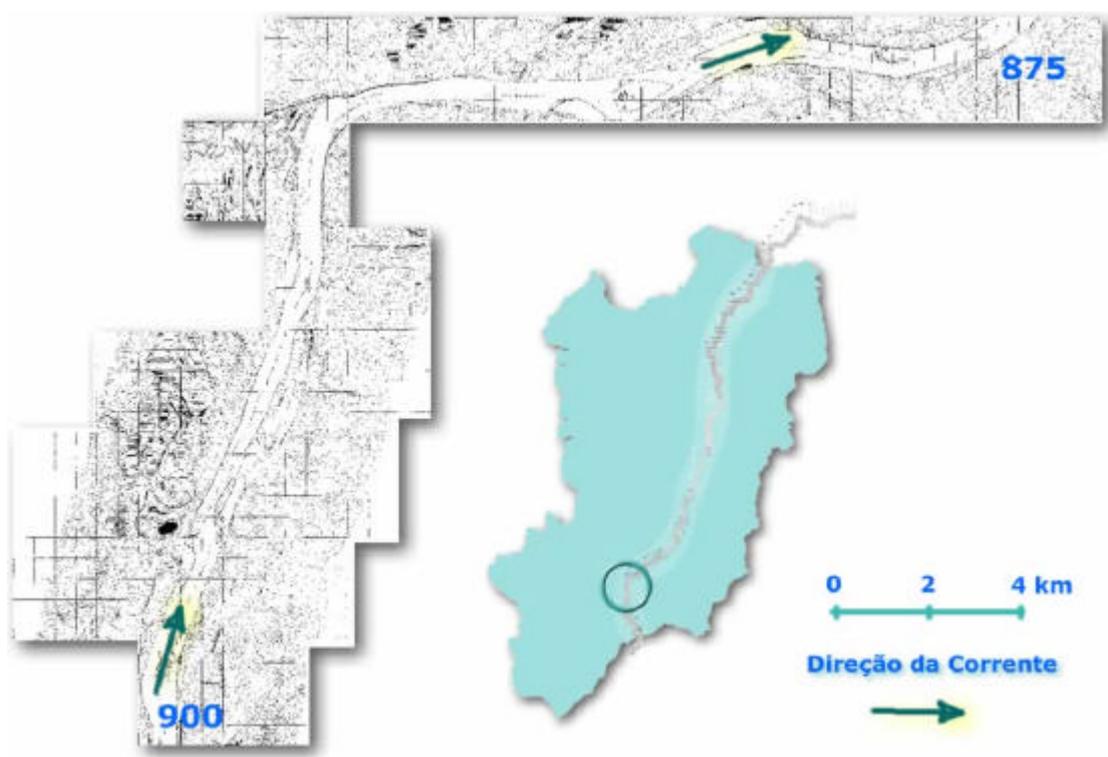


Figura 43. Mosaico das cartas topo-hidrográficas 875 a 900

## 6. DEFINIÇÃO DOS MÓDULOS DE MAPEAMENTO

Para se avaliar a variação na conformação do leito do São Francisco no trecho estudado optou-se pela utilização de módulos de mapeamento cujo posicionamento buscou a melhor distribuição possível para o recobrimento da calha do rio.

Entretanto, visando-se manter uma compatibilidade de tamanho entre os mapas gerados e a base 1:25.000 definida pelo IBGE, os módulos foram definidos com tamanhos de 7,5' (sete minutos e meio), o que corresponde a aproximadamente 13 km no terreno. Conforme mostra a Figura 48, com estas dimensões foram necessários 73 módulos para cobrir a área de estudo.

Utilizando a área definida para cada módulo e as imagens de satélite georreferenciadas, foi realizado o corte da área referente ao módulo. Para este corte utilizou-se coordenadas UTM compatíveis com a projeção cartográfica escolhida, obtidas a partir da conversão dos valores das coordenadas geográficas usadas na definição dos módulos.

Os mosaicos obtidos para as cartas topo-hidrográficas passaram por um segundo processo de georreferenciamento, desta vez para adequá-los à projeção cartográfica escolhida para o traba-

lho, compatível com a das imagens. A partir deste mosaico foram obtidos os mapas digitais que correspondiam à área dos módulos.

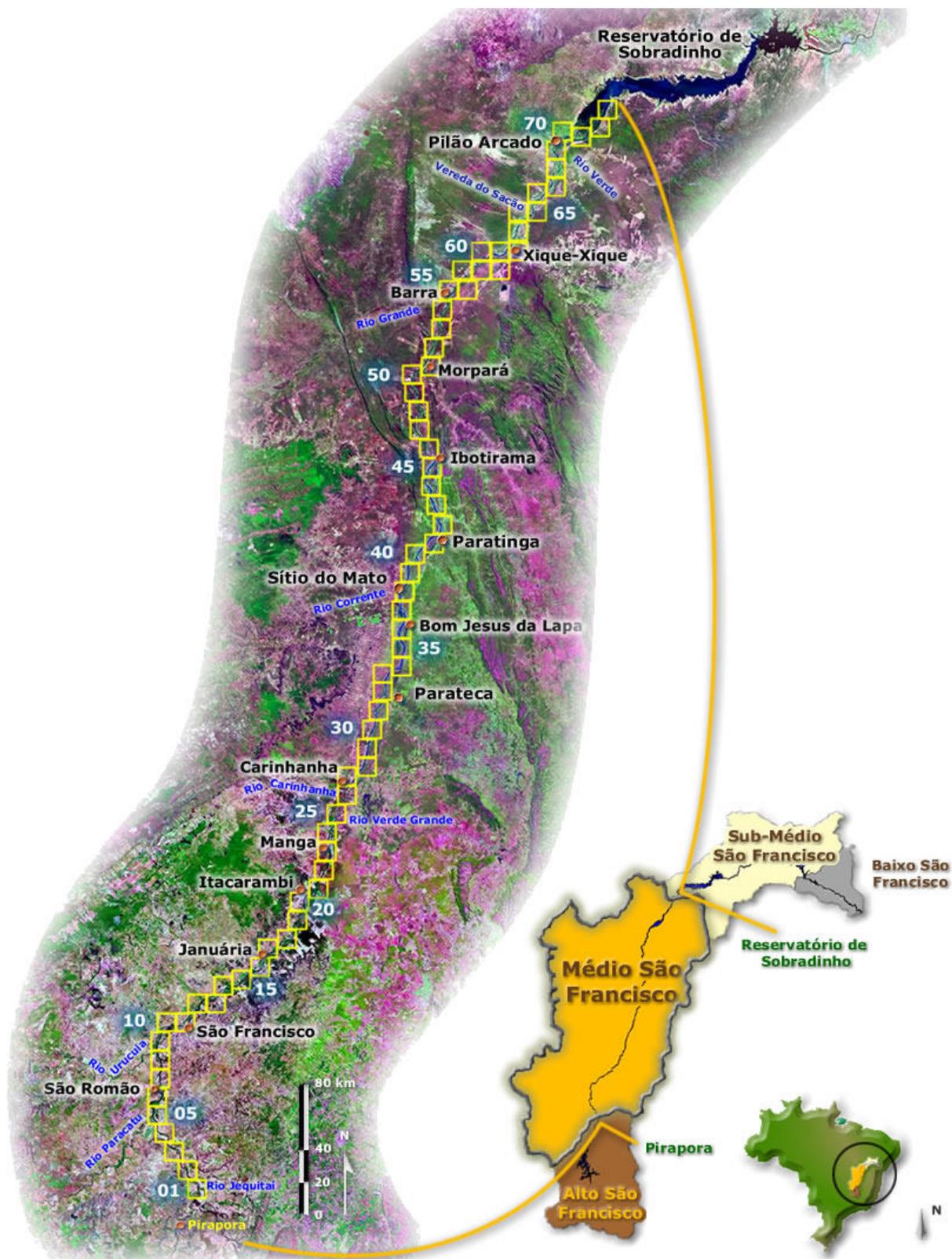


Figura 48. Distribuição dos módulos de mapeamento sobre a área de estudo.

A Figura 52 mostra o módulo 27 onde se vê a cidade de Manga. Nota-se que houve grande expansão da área da cidade tendo se intensificado a atividade agrícola, sendo vistos vários pivôs centrais próximos à margem esquerda do rio a sul de Manga, além de intenso parcelamento agrícola em toda a margem direita.

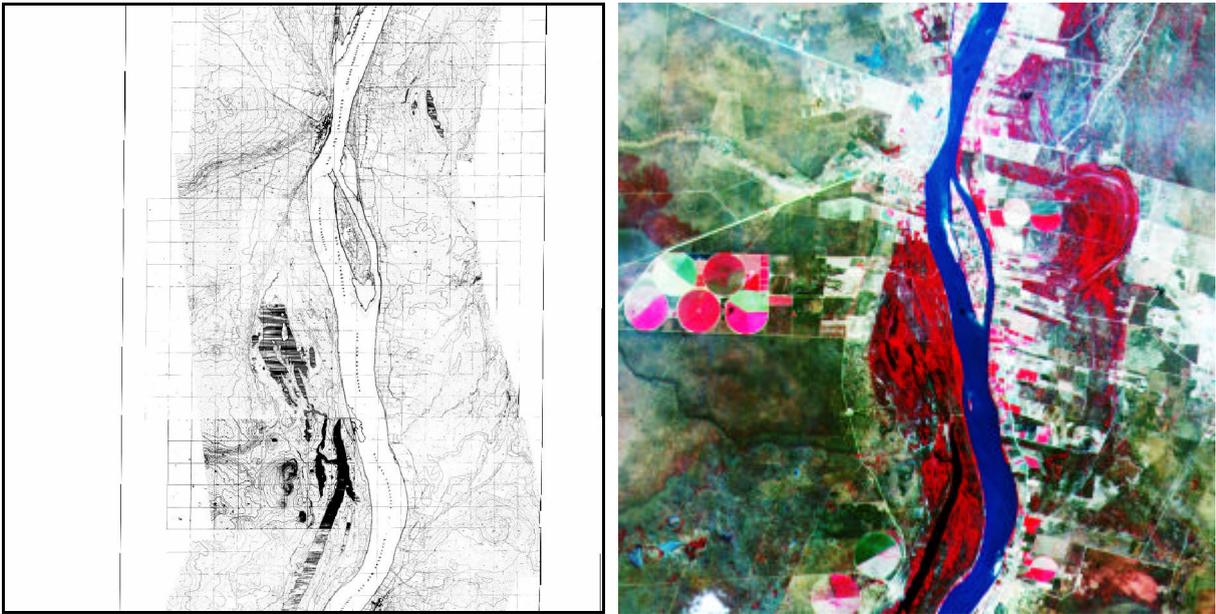


Figura 52. Mapa digital e imagem de satélite para o módulo 23 onde se vê a cidade de Manga.

## 7. INTERPRETAÇÃO DA CONFORMAÇÃO DO LEITO

### 7.1. Obtenção da Conformação do Leito a Partir das Cartas Topo-Hidrográficas

Os mapas referentes a cada módulo obtidos a partir das cartas topo-hidrográficas foram interpretados visualmente em um sistema de informações geográficas gerando-se áreas fechadas (tecnicamente chamadas de polígonos) com identificadores numéricos que indicavam o tipo de elemento cartográfico ao qual se referiam.

Desta forma, a terra firme ou continente, a água, os bancos de areia e as ilhas, foram delimitados e identificados. O conjunto representado por água, bancos de areia e ilhas forma o leito para a data analisada, e o contato deste leito com a terra firme ou continente, define as margens do rio. O processo é ilustrado na Figura 57 que apresenta o módulo 63 como exemplo.

### 7.2. Obtenção da Conformação do Leito a Partir das Imagens de Satélite

Utilizando as imagens de satélite georreferenciadas para cada módulo e seguindo o mesmo procedimento descrito para as cartas topo-hidrográficas, realizou-se a interpretação visual através de um sistema de informações geográficas gerando-se as classes água, bancos de areia e ilhas que, agrupadas, compõem o leito para a data mais recente e, similarmente, no confronto entre este leito e a terra firme, definiu-se as margens.

## 8. CRUZAMENTO DA CONFORMAÇÃO DO LEITO PARA AS DUAS DATAS ANALISADAS

Dispondo-se da conformação do leito para as duas datas analisadas, parte-se para o cruzamento das informações. Para tanto converteu-se os mapas oriundos da interpretação descrita acima e que estavam no formato vetorial (onde o conjunto de polígonos é descrito por fórmulas matemáticas e gravado em formato texto) para o formato grade (uma matriz com linhas e colunas onde cada ponto tem o valor da classe à qual pertence).

### 8.1. Classes Geradas Pelo Cruzamento

Com os dados no formato grade foi realizado o cruzamento das informações referentes às duas datas gerando-se 16 novas classes, advindas das possibilidades de cruzamento de cada classe de uma data com as quatro classes da outra data.

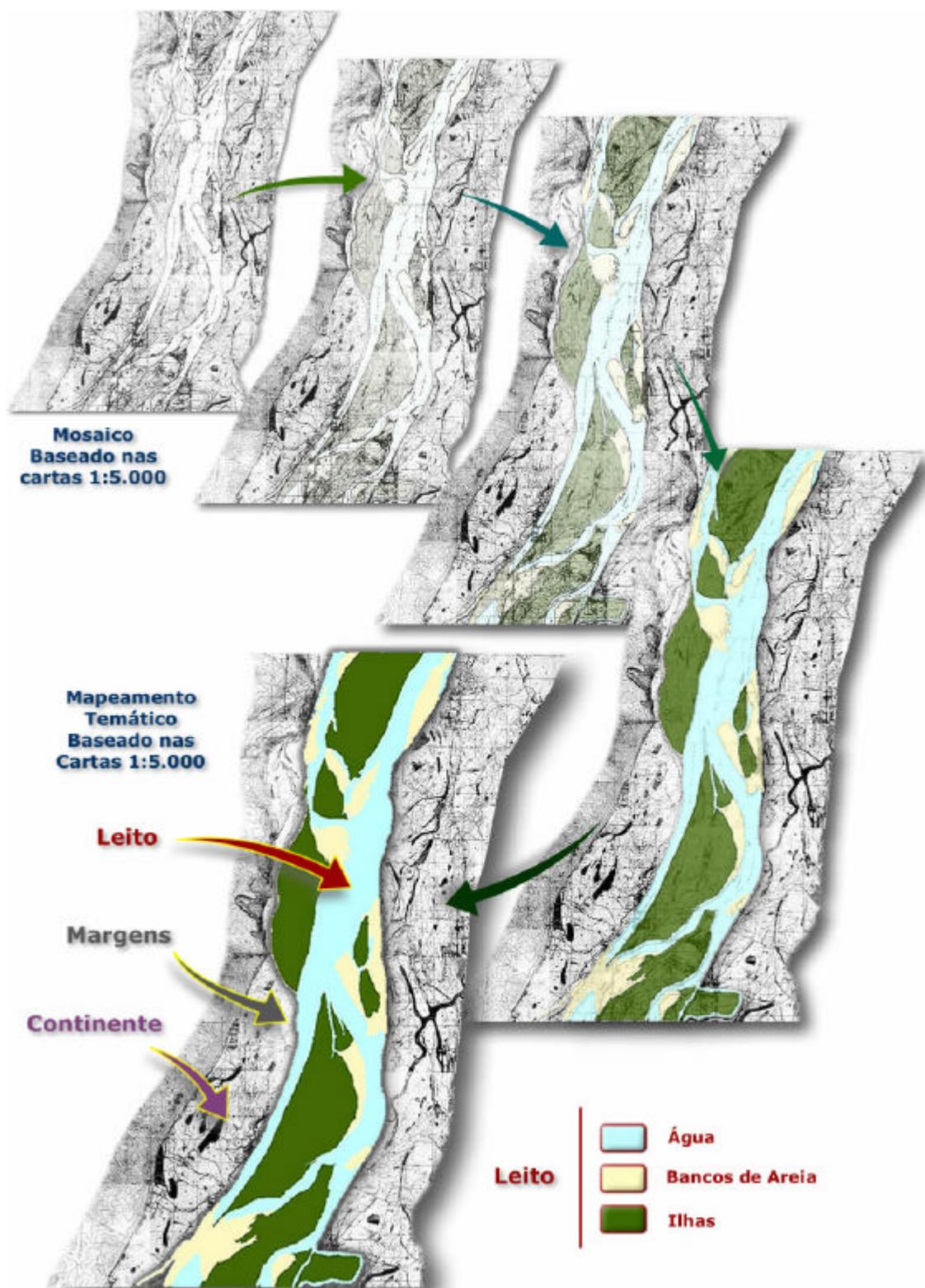


Figura 57. Definição das margens, do leito e do continente para os mapas obtidos a partir das cartas topográficas (módulo 63).

Cada uma destas classes tem uma significação, dependendo do ponto de vista abordado. Assim, uma área que era ilha e se tornou continente é, ao mesmo tempo, agregação de ilha ao continente e sedimentação de margem.

Como no presente trabalho analisou-se através do cruzamento o comportamento das margens e das ilhas, várias classes apresentam este significado dependente do ponto de vista, como pode ser visto no Quadro 12.

**Quadro 12. Classes geradas pelo cruzamento das informações referentes às duas datas e interpretação do significado da nova classe em função do parâmetro analisado.**

Classe gerada pelo cruzamento		Interpretação do Significado	
Classe Anterior (o ponto era)	Classe Atual (o ponto tornou-se)	Comportamento das ilhas	Comportamento das margens
Continente	Continente	Nenhum	Nenhum
Continente	Água	Leito Atual	Erosão
Continente	Ilha	Acreção	Erosão
Continente	Banco de Areia	Leito Atual	Erosão
Água	Banco de Areia	Leito Atual	Manutenção
Água	Água	Leito Atual	Manutenção
Água	Ilha	Acreção	Manutenção
Banco de Areia	Ilha	Acreção	Manutenção
Banco de Areia	Água	Leito Atual	Manutenção
Banco de Areia	Banco de Areia	Leito Atual	Manutenção
Ilha	Banco de Areia	Erosão – Leito	Manutenção
Ilha	Água	Erosão – Leito	Manutenção
Ilha	Ilha	Manutenção	Manutenção
Ilha	Continente	Erosão – Continente	Sedimentação
Água	Continente	Nenhum	Sedimentação
Banco de Areia	Continente	Nenhum	Sedimentação

▪ **Grupos de Classes Utilizados Para a Interpretação do Comportamento das Margens**

De acordo com o Quadro 12, as classes obtidas no cruzamento foram reagrupadas em 3 grupos – erosão, sedimentação e manutenção – para a interpretação do comportamento das margens. O Quadro 13 apresenta estes três grupos com as classes que os compõem e o seu significado, além da dinâmica associada a cada um.

**Quadro 13. Significado dos Grupos de Classe na análise do comportamento das margens.**

Classes Agrupadas	Significado	Dinâmica Associada
<b>Erosão</b>		
Continente – Água Continente – Bancos de Areia Continente – Ilhas	Áreas que pertenciam ao continente na primeira data analisada e que passaram a pertencer ao leito como água, banco de areia ou ilha.	Estão associadas a aumento de energia ou competência que permite a erosão das margens, agregando a área ao leito. São superavaliadas quando afetadas por vazões e cotas acima da média, que agregam área ao leito sem a ocorrência do processo erosivo.
<b>Sedimentação</b>		
Água – Continente Bancos de Areia – Continente Ilhas – Continente	Áreas que pertenciam ao leito como água, bancos de areia e ilhas na primeira data analisada e que se fixaram ao continente.	Estão associadas a redução de energia ou competência, fazendo com que áreas do leito se fixem ao continente. São superavaliadas quando afetadas por cotas e vazões abaixo da média, que agregam área ao continente sem que tenha ocorrido o processo de sedimentação.
<b>Manutenção</b>		
Demais Classes	Áreas que permaneceram pertencendo ao leito nos dois períodos analisados, independente de sua composição original ou atual.	Áreas em que o aumento ou redução de energia pode ter afetado a conformação original, mas elas permaneceram pertencendo ao leito.

Deve-se ressaltar que os termos erosão e sedimentação foram utilizados de forma descritiva, não implicando na natureza específica do processo ocorrido.

▪ **Grupos de Classes Utilizados Para a Interpretação do Comportamento das Ilhas**

O Quadro 12 mostra que, para a análise do comportamento das ilhas, as classes obtidas no cruzamento foram reagrupadas em 4 grupos – acreção, erosão com agregação ao leito, erosão com agregação ao continente e manutenção – sendo que o leito atual foi mostrado para realçar o comportamento das classes de erosão, indicando se a ilha foi agregada ao leito ou ao continente.

O Quadro 14 apresenta estes quatro grupos com as classes que os compõem e o seu significado, além da dinâmica associada a cada grupo.

**Quadro 14. Significado dos Grupos de Classe na análise do comportamento das ilhas.**

<b>Classes Agrupadas</b>	<b>Significado</b>	<b>Dinâmica Associada</b>
<b>Acreção</b>		
Continente – Ilhas Água – Ilhas Bancos de Areia – Ilhas	Áreas que se tornaram ilhas na data atual, independente de serem originalmente parte do continente, água ou bancos de areia.	Estão associadas a redução da energia ou competência de transporte de sedimentos e são superavaliadas quando afetadas por vazões e cotas abaixo da média.
<b>Erosão com agregação ao leito</b>		
Ilhas – Bancos de Areia Ilhas – Água	Áreas que deixaram de ser ilhas e passaram a pertencer ao leito, fazendo parte atualmente da corrente aquosa, como água ou bancos de areia.	Áreas associadas às modificações que ocorrem na porção central do canal, relacionadas a um aumento da energia ou competência para realizar o trabalho erosivo. São superavaliadas quando afetadas por vazões e cotas acima da média.
<b>Erosão com agregação ao continente</b>		
Ilhas – Continente	Áreas que deixaram de ser ilhas e passaram a pertencer ao continente.	Este processo afeta principalmente as ilhas marginais e se associa ao assoreamento de canal secundário, estando ligado à redução de energia. São superavaliadas quando afetadas por cotas e vazões abaixo da média.
<b>Manutenção</b>		
Ilhas – Ilhas	Áreas que permaneceram como ilhas.	Indicam áreas onde houve a manutenção da dinâmica original. Entretanto, em virtude da diferença de tempo entre as duas datas, uma parte destas áreas corresponde a novas ilhas que se formaram no mesmo local de antigas ilhas, tendo ocorrido mudanças, mas mantendo-se o tipo de comportamento.

Assim como no caso da análise das margens, os termos acreção, erosão e manutenção foram usados de forma descritiva, pois diferenças de vazão e cota podem afetar os percentuais encontrados, causando a superavaliação ou subavaliação dos mesmos, dependendo do tipo de interferência.

**8.2. Definição das Áreas que Sofreram Erosão e Sedimentação das Margens**

Com o reagrupamento das classes levando em conta o comportamento das margens apresentado no Quadro 13 sendo aplicado ao resultado do cruzamento, obtém-se os mapas que ressaltam as áreas onde os processos de erosão, sedimentação e manutenção ocorreram, de acordo com as premissas e condições anteriormente descritas.

Na Figura 59 pode-se ver o resultado do reagrupamento das classes para o módulo 63, apresentado como exemplo nas figuras anteriores. As cores utilizadas correspondem às do Quadro 12.

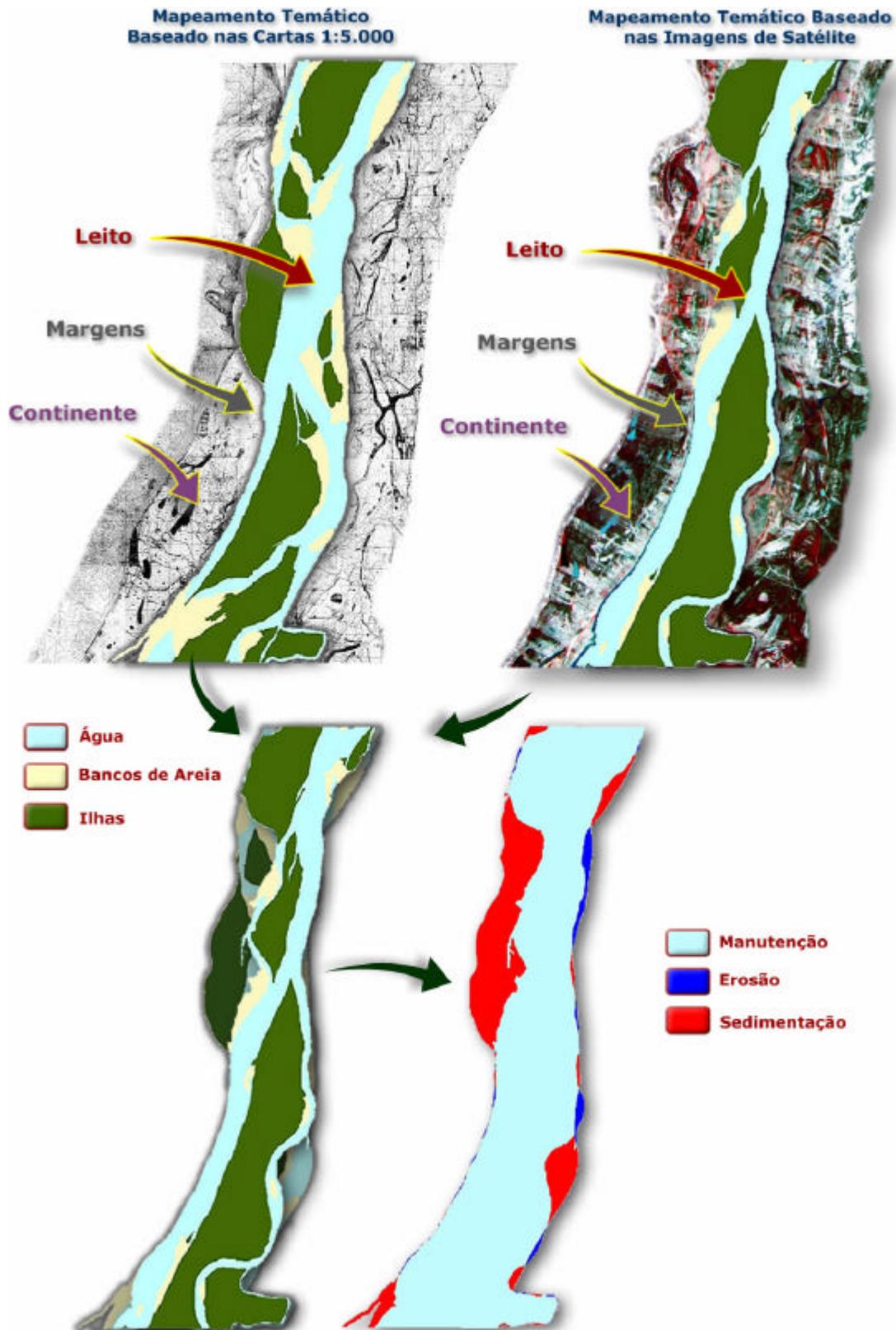
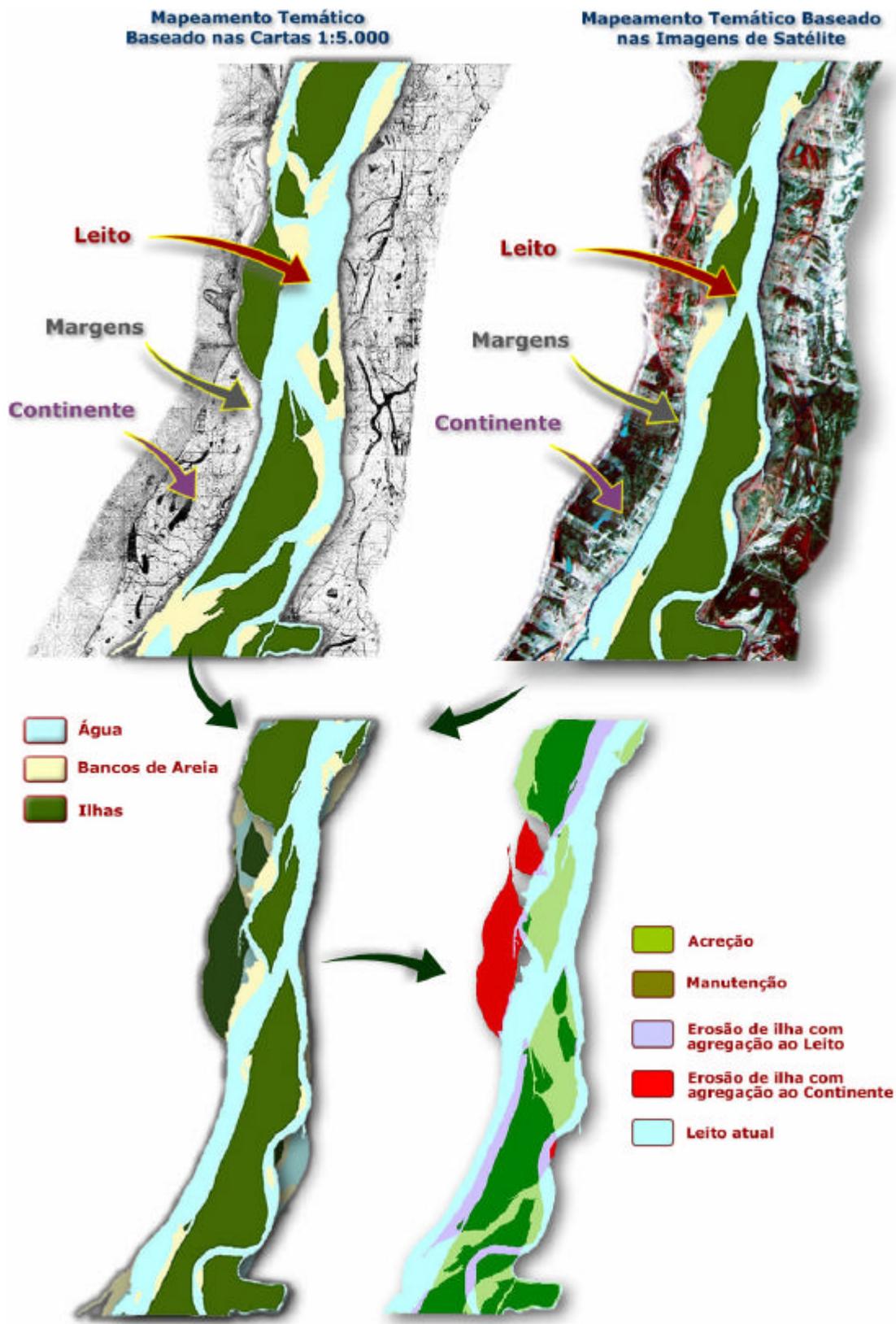


Figura 59. Obtenção dos mapas que ressaltam a manutenção, erosão e sedimentação das margens.

### 8.3. Definição das Áreas que Sofreram Erosão e Acreção de Ilhas

Considerando o reagrupamento das classes baseado no comportamento das ilhas apresentado no Quadro 14, obtém-se os mapas que ressaltam as áreas onde os processos de acreção, erosão

com agregação ao leito, erosão com agregação ao continente e manutenção ocorreram conforme mostrado na Figura 60.



**Figura 60.** Processo de obtenção dos mapas que ressaltam o comportamento das ilhas indicando onde ocorreu acreção, manutenção, erosão com agregação ao leito e erosão com agregação ao continente.

Neste caso, as áreas que não fazem parte do processo de modificação das ilhas e que pertencem ao leito atual foram demarcadas em azul claro. As demais cores correspondem às do Quadro 12.

## 9. PROCESSAMENTO DOS DADOS OBTIDOS NO CRUZAMENTO

Como explicado anteriormente, o cruzamento gerou um conjunto de classes para as quais o sistema de informações geográficas fornece a área e a distribuição espacial. O predomínio de um determinado tipo de alteração ou de um conjunto de alterações foi observado analisando-se os dados numéricos obtidos como resultado do cruzamento das classes.

Desta forma, a metodologia de análise seguiu um processo de quantificação inicial das mudanças realizada a partir dos dados numéricos obtidos pelo cruzamento das informações, seguida da qualificação destas mudanças. Esta qualificação embasou uma interpretação que leva em conta as implicações sobre a dinâmica de alteração da conformação do leito.

### 9.1. Redução do *Bias* Associado ao Mapeamento por Módulos

Para que fosse realizada a análise visual dos resultados gráficos, foi necessário aplicar um pré-processamento sobre os valores originais obtidos com o objetivo de reduzir o *bias* ou desvio associado ao mapeamento por módulos.

Para minimizar esta interferência, utilizou-se um filtro passa-baixa aplicado através de uma média movel ponderada. Este filtro atribui a cada valor original um novo valor que leva em conta a interferência do entorno imediato. Os novos valores para cada módulo foram calculados usando a seguinte fórmula:

$$\text{Módulo X} = ((\text{Módulo X-1}) + 3 * (\text{Módulo X}) + (\text{Módulo X+1})) / 5$$

Nas análises numéricas e gráficas feitas módulo a módulo, foram utilizados os dados originais. Desta forma, todos os percentuais citados no trabalho se referem aos dados originais, enquanto os gráficos que apresentam toda a sequência usam os dados processados pela média móvel.

### 9.2. Definição dos Parâmetros Para Interpretação dos Dados

Para que se pudesse analisar o comportamento das ilhas e das margens, foram utilizados dois parâmetros baseados nos dados originais – a alteração total ou grau de alteração e o balanço. Estes parâmetros foram escolhidos por representarem a quantidade de alterações ocorridas e o tipo de alteração predominante.

O grau de alteração reflete a quantidade de mudanças ocorridas na área e será proporcional ao tamanho da área que sofreu modificações no módulo analisado, independente do tipo desta alteração.

Por ter esta característica, este parâmetro não é sensível a variações de cota ou vazão. Isto ocorre porque, ao considerar a soma das mudanças independente do tipo, uma redução de cota, por exemplo, diminuiria a erosão das margens, mas aumentaria a sedimentação, fazendo com que este parâmetro fosse pouco modificado. Desta forma, ele é um indicativo fidedigno do conjunto de alterações ocorrido.

Já o balanço serve exatamente como um parâmetro para indicar a predominância de um determinado tipo de alteração, permitindo avaliar o tipo de processo que está sendo mais ativo ou se está ocorrendo a interferência de vazões e cotas anômalas sobre os resultados.

A análise do balanço mostrou que o modelo usado para inferir as vazões foi bastante satisfatório, tendo-se obtido resultados compatíveis com estes valores inferidos.

Além do grau de alteração e do balanço foram analisados dados relativos à composição original e atual das áreas que sofreram modificações no período analisado. Nestes casos, os gráficos sempre usavam os dados originais e não os ajustados pela média móvel ponderada.

## **10. DEFINIÇÃO DOS TRECHOS**

A grande extensão da área associada a diferenças de comportamento nos parâmetros analisados, levou à sua subdivisão em trechos. Como o comportamento das margens e das ilhas foi distinto, também foram definidos trechos diferentes para cada análise.

A definição dos trechos usou os parâmetros balanço e alteração total. Em virtude de diferenças de comportamento observadas em alguns pontos, os trechos definidos para as ilhas não foram os mesmos utilizados para a análise do comportamento das margens, estando as maiores diferenças na porção central da área.

## **11. ANÁLISE DOS DADOS HIDROLÓGICOS**

As diferenças de vazão e cota nos dois períodos analisados é um fator importante na análise das mudanças observadas na conformação do leito, visto que elas podem interferir nos resultados obtidos. Infelizmente, a Codevasf não dispunha de informações sobre a data exata das fotos que serviram de base para a restituição das cartas topo-hidrográficas de onde foi extraída a conformação do leito do rio para a primeira data analisada – entre os anos de 1946 e 1948.

Assim sendo, utilizou-se dados médios para o período seco de cada ano como base para inferir-se a provável vazão do rio. O uso dos dados do período seco embasa-se não somente no pressuposto de que este é o período mais adequado para a realização de aerolevantamentos, mas também no padrão de comportamento das feições mapeadas com base nas cartas, que indicam que a vazão do rio estava na sua média da seca.

### **11.1. Inferência dos Valores de Vazão Para as Cartas Topo-Hidrográficas**

Para se ter uma referência sobre os valores da vazão no período em que foi feito o aerolevanteamento que gerou as cartas topo-hidrográficas, analisou-se as médias dos meses de julho a agosto dos anos de 1946 e 1947. No ano de 1948 houve uma grande seca com as vazões estando abaixo da média. Com isto optou-se por usar os dados relativos apenas aos anos de 1946 e 1947 que tinham valores mais próximos da média geral da época.

Utilizando os valores das médias inferidas pôde-se montar um gráfico de vazão para a área, sendo definida a vazão média e um patamar mínimo e máximo de variação para o período.

### **11.2. Vazões Para as Datas das Imagens Entre 2000 e 2001**

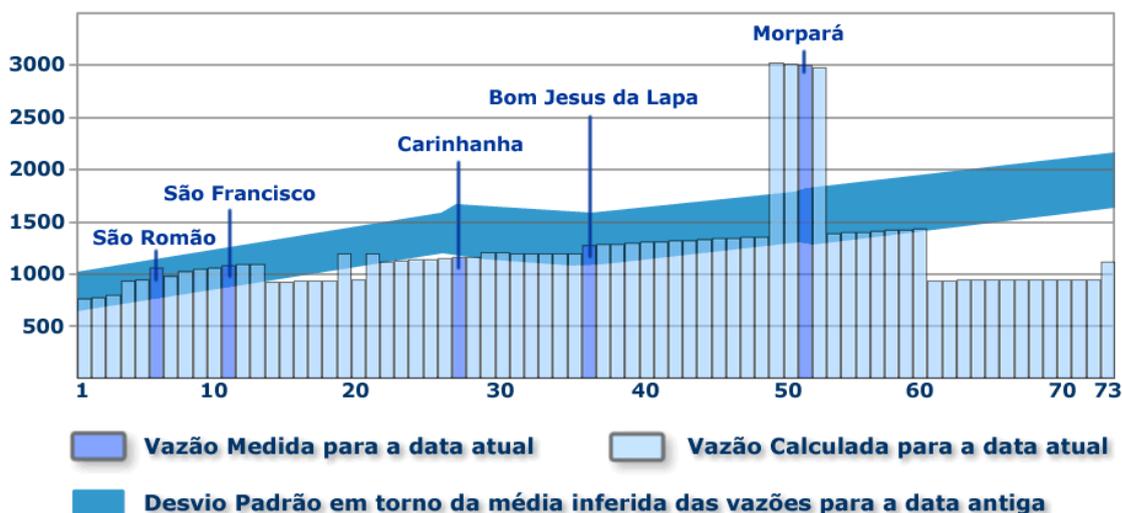
Para as imagens utilizadas no trabalho dispunha-se da data exata, podendo-se saber a vazão do rio nas estações de medição. Com estas informações foi calculada a vazão em cada módulo utilizando-se uma interpolação linear a partir da estação de medição mais próxima. Nos módulos onde se localizava a estação tinha-se a vazão medida e, nos demais, a vazão calculada.

### **11.3. Comparação Entre as Vazões do Rio nos Dois Períodos Analisados**

A Figura 70 mostra a sobreposição entre as vazões calculadas e medidas a partir das datas das imagens de satélite e as vazões inferidas para as cartas topo-hidrográficas relativas à primeira data analisada, obtidas considerando-se a média do período seco dos anos de 1946 e 1947.

Nota-se que a vazão do rio nas imagens atuais está, geralmente, abaixo da vazão inferida para os anos de 1946 e 1947, à exceção dos trechos onde a vazão estava fora da média – entre os módulos 49 e 52 e a partir do módulo 61, como citado anteriormente. Neste trecho final, entretanto, o reservatório de Sobradinho interfere nos efeitos da diferença de vazão, pois houve, a partir de 1979, um processo de estabilização da cota devido à influência do remanso do reservatório.

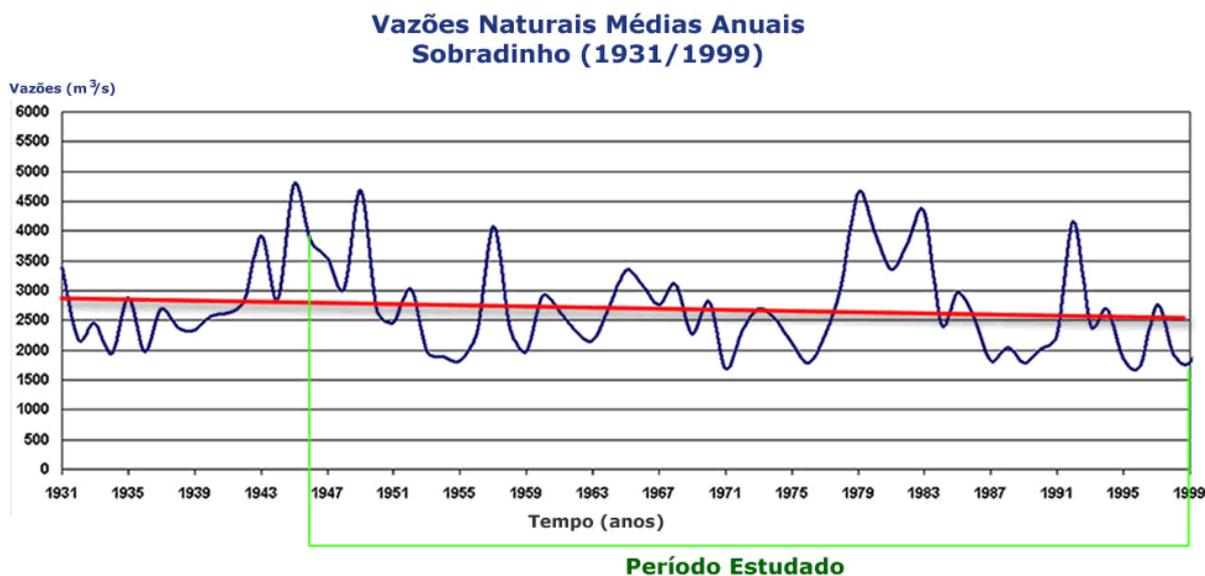
Excetuando-se as duas áreas onde as vazões do rio nas imagens atuais estavam fora da média, notou-se que, no geral, havia uma tendência de que a vazão atual ficasse abaixo da média das vazões referentes ao período de referência entre 1946 e 1947.



**Figura 70. Comparação entre as vazões médias inferidas para os meses de junho a setembro de 1946 e 1947 com as vazões medidas e calculadas para as datas de aquisição das imagens.**

Esta tendência se refletiu no predomínio de determinados tipos de alteração da conformação do leito e, diante disto, analisou-se o comportamento geral da vazão do rio para verificar se esta tendência está em consonância com os dados medidos pelas estações fluviométricas.

Para efetuar-se esta análise utilizou-se as vazões médias naturais obtidas em Sobradinho no período de 1931 a 1999. A Figura 71 mostra que, como tendência geral, os picos das maiores cheias estão tendo uma redução, enquanto os anos com as maiores secas mostram vazões médias cada vez mais baixas.



**Figura 71. Vazões Naturais Médias Anuais para o período de 1931 a 1999 em Sobradinho.**

A linha de tendência mostrada em vermelho sobre o gráfico confirma estas observações indicando que houve uma redução da vazão natural média de cerca de 2.800 m<sup>3</sup>/s em 1931 para 2.500 m<sup>3</sup>/s em 1999, o que representa uma diminuição de mais de 10%.

Por outro lado, o fato da maioria das imagens mostrar uma vazão abaixo da média inferida para a primeira data analisada, conforme mostrado na Figura 70, está em acordo com a situação atual do rio e, portanto, reflete fielmente a mudança na dinâmica de alteração das estruturas analisadas.

Isto significa que as modificações ocorridas na conformação do leito em função de uma redução da vazão são parte da resposta ao novo conjunto de variáveis que está atuando.

## 12. ETAPA DE CAMPO

Entre os dias 10 e 11 de Agosto de 2002 efetuou-se uma etapa de campo com o objetivo de realizar a observação visual e registro através de fotografias das áreas do leito e das margens do rio São Francisco no trecho estudado. Para tanto foi realizado um sobrevôo de helicóptero, sobre o rio até uma distância transversal limite de 5 km, geralmente pela margem direita.

O trecho voado iniciou-se em Pirapora, estado de Minas Gerais, finalizando em Petrolina, estado de Pernambuco, com paradas nas cidades de São Francisco, Bom Jesus da Lapa e Xique-Xique.

## 13. ANÁLISE DA DINÂMICA DE ALTERAÇÃO DA CONFORMAÇÃO DO LEITO

A avaliação multitemporal da dinâmica de alteração do leito do rio São Francisco foi realizada com base na análise das modificações ocorridas nas margens (alterações do leito), ilhas, espelho d'água e bancos de areia.

A Figura 74 mostra que a composição atual das classes que formavam o leito mostrou modificações substanciais para os bancos de areia, que compunham 13% da área original e passaram a representar apenas 4% da área atual, e para as ilhas, que eram 20% da área original e passaram a compor 28% da área atual.

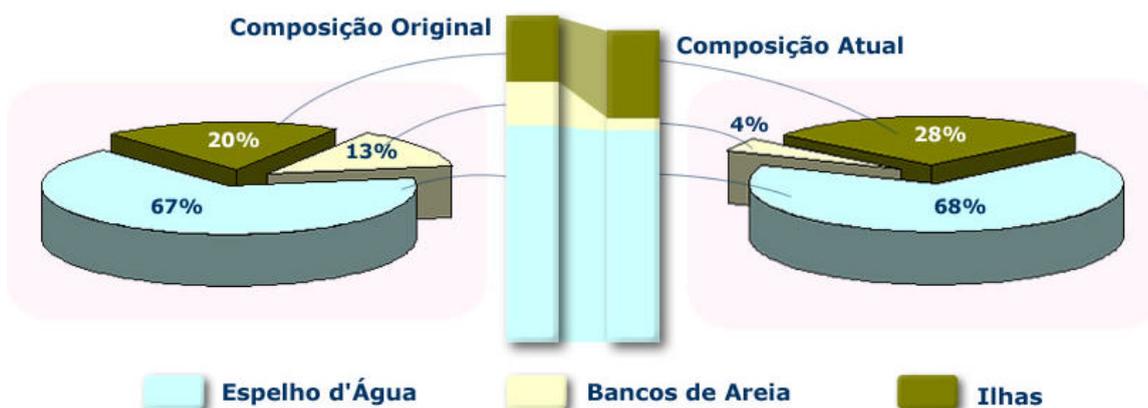


Figura 74. Comparação entre a composição original e atual do leito, considerando-se as percentagens de ilhas, bancos de areia e espelho d'água.

O espelho d'água, por outro lado, mostrou uma variação irrelevante, indo de 67% da área original para 68% da área atual. O leito, em si, sofreu uma redução de sua área total em virtude da predominância da sedimentação das margens sobre a erosão, como pode ser visto no gráfico em colunas, no centro da figura. O comportamento de cada uma destas classes será discutido nos itens que se seguem.

### 13.1. Comportamento das Margens

As alterações das margens foram consideradas de dois pontos de vista básicos: a erosão e a sedimentação. As áreas não afetadas pelo processo foram chamadas de manutenção. Na Figura 75 é mostrado do lado direito o contraste entre a manutenção, indicada em azul claro, e a alteração composta pela erosão, indicada em azul escuro, e a sedimentação, em vermelho.

Devido à natureza do processo de avaliação multitemporal, onde os dados referentes a épocas distintas são comparados, chamou-se de erosão de margens aqueles pontos que não pertenciam ao leito do rio na primeira época analisada, e que passaram a pertencer a este leito na data mais recente, independentemente de sua condição atual (água, banco de areia ou ilha) e do processo que o levou a se agregar ao leito.

A sedimentação constitui-se no acúmulo de sedimentos nas margens, fazendo com que áreas antes pertencentes ao leito, passassem a integrar definitivamente o continente, considerando-se os períodos analisados.

As áreas que permaneceram pertencendo ao leito, mesmo que tenham mudado seu comportamento variando entre ilhas e corrente aquosa, foram consideradas como manutenção na análise da dinâmica de alteração das margens.

A área correspondente à manutenção (azul claro) e erosão das margens (azul escuro) corresponde à área atual do leito. Unindo-se a manutenção com a sedimentação das margens (vermelho) tem-se a antiga área do leito. Do lado esquerdo desta figura vê-se o balanço, onde a predominância da sedimentação é indicada em vermelho e a predominância da erosão em azul escuro.

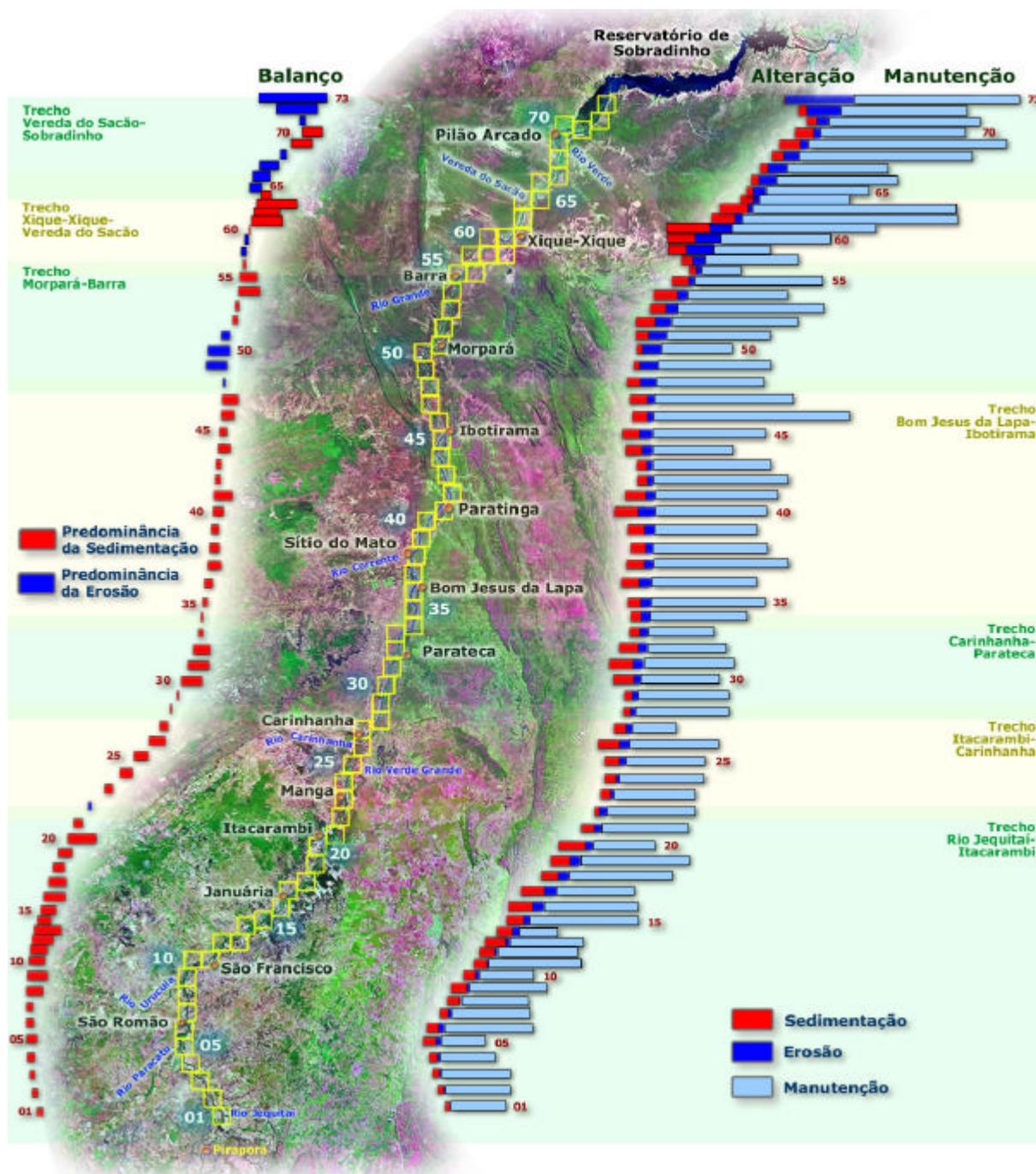


Figura 75. Comportamento da erosão e sedimentação das margens através dos parâmetros alteração total e balanço. O comprimento das colunas é proporcional à área em km<sup>2</sup> de cada item.

Conforme explicado no item 20.1, os parâmetros alteração total e balanço foram utilizados para subdividir a área em trechos, já que eles não variam de forma contínua ao longo da área estudada, mas apresentam alternâncias entre áreas com maior ou menor grau de alteração ou predominância de um dos eventos – erosão ou sedimentação – sobre o outro.

Para cada um destes trechos foi efetuada uma descrição mais detalhada. A análise da área em trechos separados também foi utilizada para que a escala de observação tornasse a visualização dos resultados mais clara.

#### **13.1.1 Trecho Rio Jequitaí – Itacarambi**

O primeiro trecho analisado estende-se da foz do rio Jequitaí, onde foi posicionado o módulo 1, até jusante da cidade de Itacarambi, na altura do módulo 22.

Este trecho é caracterizado por um aumento progressivo da alteração total com picos nos módulos 5 e 6, próximo à foz do rio Paracatu, 16 e 17 na altura de Januária, no módulo 20, próximo a Itacarambi, havendo depois uma redução a jusante desta cidade em direção a Manga.

Quanto ao balanço entre erosão e sedimentação, ocorre o aumento progressivo da predominância da sedimentação sobre a erosão com picos nos módulos 9, 13 e 20, chegando-se a um máximo neste último, seguindo-se uma forte redução no módulo seguinte e a inversão no módulo 22, onde houve a predominância da erosão das margens.

#### **13.1.2 Trecho Manga-Carinhanha**

Este trecho se estende da área a montante de Manga, na altura do módulo 22, até jusante de Carinhanha, na altura do módulo 28. Ele é caracterizado por um crescimento progressivo do grau de alteração e pela predominância da sedimentação sobre a erosão a partir do módulo 23 até a altura de Carinhanha, onde deságua o rio homônimo, tendo-se então uma redução de ambos os parâmetros.

Observa-se também que a sedimentação foi responsável por cerca de 65% da alteração das margens neste trecho, enquanto a erosão correspondeu a cerca de 35%. Isto corresponde a uma pequena redução da sedimentação com relação ao trecho anterior. Esta redução, entretanto, está mais relacionada ao tamanho da área analisada (7 módulos neste trecho, contra 22 do trecho anterior) do que a uma mudança de comportamento, o que também se reflete no balanço erosão/sedimentação onde cerca de 5% da área apresenta predominância da erosão.

#### **13.1.3 Trecho Carinhanha – Parateca**

Este trecho se estende da área a jusante de Carinhanha, na altura do módulo 28, até jusante de Parateca, na altura do módulo 34. Ele se caracteriza por um aumento progressivo da alteração total da sua parte inicial até a altura do módulo 31, daí havendo uma redução até o final do trecho.

A erosão permanece em patamares fixos, sempre inferior à sedimentação, mas com valores muito próximos a esta, à exceção do trecho entre os módulos 30 a 32, onde o aumento expressivo da sedimentação é responsável pelo aumento da alteração total e do predomínio da sedimentação no balanço.

#### **13.1.4 Trecho Bom Jesus da Lapa-Ibotirama**

Este trecho se estende de montante de Bom Jesus da Lapa, na altura do módulo 34, até jusante de Ibotirama, na altura do módulo 48. Observa-se um aumento progressivo do grau de alteração até o módulo 41, onde há uma redução brusca seguida de aumento nos módulos 44 e 45, próximo à cidade de Ibotirama. Repete-se então a sequência, com forte redução seguida de aumento do grau de alteração até o final do trecho.

O balanço entre sedimentação e erosão acompanha o mesmo comportamento do grau de alteração, pois a erosão apresenta um comportamento estável enquanto a sedimentação se altera, causando as diferenças de comportamento nos dois itens. Entretanto, na porção final do trecho, na altura do módulo 48 ocorre uma inversão com predominância da erosão sobre a sedimentação.

A Figura 93 mostra a área do módulo 45, onde se localiza a cidade de Ibotirama. Neste módulo o grau de alteração é elevado e o balanço erosão-sedimentação aproxima-se do equilíbrio,

com leve predominância da sedimentação. O gráfico em colunas indica que a erosão correspondeu a cerca de 15% da área original, percentual bastante próximo ao da erosão.

Chama a atenção neste ponto, a alternância de áreas com alargamento e estreitamento do canal, que ocorre principalmente em função das mudanças ocorridas na conformação das ilhas. O gráfico em fatias mostra que as áreas que se agregaram ao continente eram compostas por mais de 80% de água, cerca de 18% de bancos de areia e uma parcela pouco superior a 1% de ilhas. Isto indica que a dinâmica de alteração neste trecho foi intensa, com a maior parte da área passando por processos de sedimentação secundários antes de se fixarem ao continente.

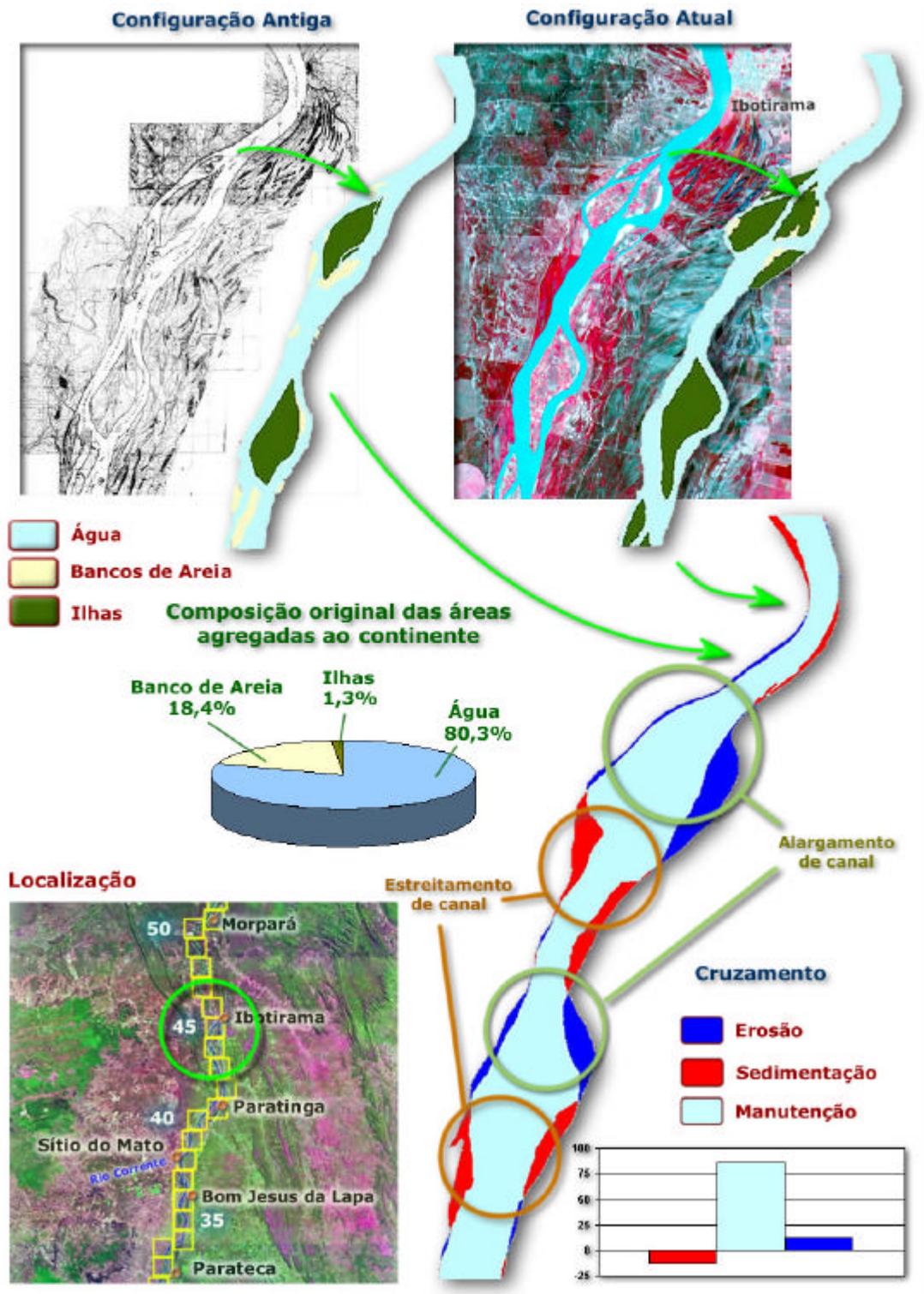


Figura 93. Área do módulo 45 com estreitamento e alargamento de canal alternados, com leve predominância da sedimentação e grau de alteração elevado.

A Foto 15 mostra a porção norte do módulo 45, a jusante de Ibotirama, onde o leito sofreu intensa modificação. Nota-se que a acreção da ilha localizada no canto esquerdo da foto forçou a erosão da margem direita do rio, conforme indicado. São visíveis também áreas da planície de inundação que apresentam cicatrizes de leitos antigos.



**Foto 15.**  
Porção norte do módulo 45, a jusante de Ibotirama, onde se vê cicatrizes de leitos antigos e áreas que sofreram erosão das margens devido à acreção de ilhas.

A presença de água nestas áreas afeta o grau de agregação das partículas do solo tornando-o mais susceptível à erosão. Com isto, durante os eventos de cheia, a maior vazão e energia encontram mais facilidade para causar mudanças na conformação do leito nestes locais. Isto fica comprovado pelo elevado grau de alteração observado neste módulo onde o alargamento e estreitamento do canal ocorrem pelo retrabalhamento das áreas com esta configuração.

#### **13.1.5 Trecho Morpará-Barra**

Este trecho se estende do módulo 48, a montante de Morpará, até a cidade de Barra, na altura do módulo 56. Ele é caracterizado por uma predominância da erosão sobre a sedimentação do módulo 48 até o módulo 51, a jusante de Morpará, seguida de uma inversão com a predominância crescente da sedimentação até a cidade de Barra, no final do trecho. O grau de alteração apresenta comportamento variável, sendo maior na porção inicial e menor na porção final do trecho.

Há um equilíbrio entre erosão e sedimentação com a primeira perfazendo cerca de 51% da alteração total. O mesmo acontece quanto ao balanço, onde a predominância da erosão também atinge cerca de 51% do total da área analisada.

#### **13.1.6 Trecho Barra-Vereda do Sacão**

Este trecho se estende de montante da cidade de Barra, na altura do módulo 56, até jusante de Xique-Xique, próximo à Vereda do Sacão, na altura do módulo 65. Ele se caracteriza por um grau de alteração mediano que cresce progressivamente até um ápice no módulo 61, sofrendo então uma redução progressiva a partir de Xique-Xique.

Entre os módulos 60 e 61 tem-se os mais elevados graus de alteração encontrados em toda a área analisada. Vale lembrar que o módulo 59, que cobria parte da Ilha do Gado Bravo, não foi utilizado nos cálculos porque o mapeamento na escala 1:5.000 não cobriu esta área.

Este trecho apresenta um comportamento antagônico, com a predominância da sedimentação nos níveis mais elevados encontrados em toda a área entre os módulos 61 e 63, associados à predominância da erosão nos módulos 57, 58 e 65. No cômputo geral a sedimentação predomina com cerca de 58% do total da alteração, enquanto a erosão responde por cerca de 42%.

No balanço a predominância da sedimentação é maior, chegando a cerca de 77%, contra cerca de 23% da erosão. Isto ocorre porque nos pontos onde a erosão predominou, a diferença não foi tão relevante quanto naqueles onde houve o predomínio da sedimentação, que como dito anteriormente, atingiu neste trecho os valores mais elevados de toda a área.

### 13.1.7 Trecho Vereda do Sacão-Sobradinho

Este trecho se estende de jusante de Xique-Xique, próximo à Vereda do Sacão, na altura do módulo 65, até o início do reservatório de Sobradinho, no módulo 73, o último da sequência. Ele se caracteriza por um grau de alteração crescente que tem seu pico no módulo 69, daí reduzindo até o módulo 71.

Já a erosão das margens se mostra mais intensa que a sedimentação do módulo 65 ao 69, daí ocorrendo a inversão, com predominância da sedimentação nos módulos 70 e 71. Nos módulos 72 e 73 já é sentida a interferência de Sobradinho que causa um expressivo aumento de cota ressaltado na predominância absoluta das áreas ‘erodidas’, sendo encontradas nestes dois módulos as maiores áreas adicionadas ao leito em valores absolutos.

### 13.1.8 Análise Integrada das Alterações das Margens

- **Predomínio da Sedimentação das Margens com Redução da Área do Leito**

A Figura 109 apresenta o comportamento dos três parâmetros analisados no estudo do comportamento das margens: sedimentação, manutenção e erosão. O gráfico em colunas mostra que cerca de 87% da área original do leito foi mantida, a sedimentação subtraiu cerca de 13% desta área e a erosão acrescentou cerca de 9% do leito ao continente. Com isto, o leito atual apresenta uma área 4% menor que a do antigo.

O gráfico em fatias mostra que a sedimentação representou 58% da modificação observada na área de estudo, enquanto a erosão correspondeu a 42%.

Analisando-se o comportamento das áreas onde ocorreu a sedimentação, mostrado na Figura 110, observa-se que 16% era composta originalmente por ilhas que se fixaram ao continente devido ao assoreamento do canal secundário, conforme indica o exemplo.

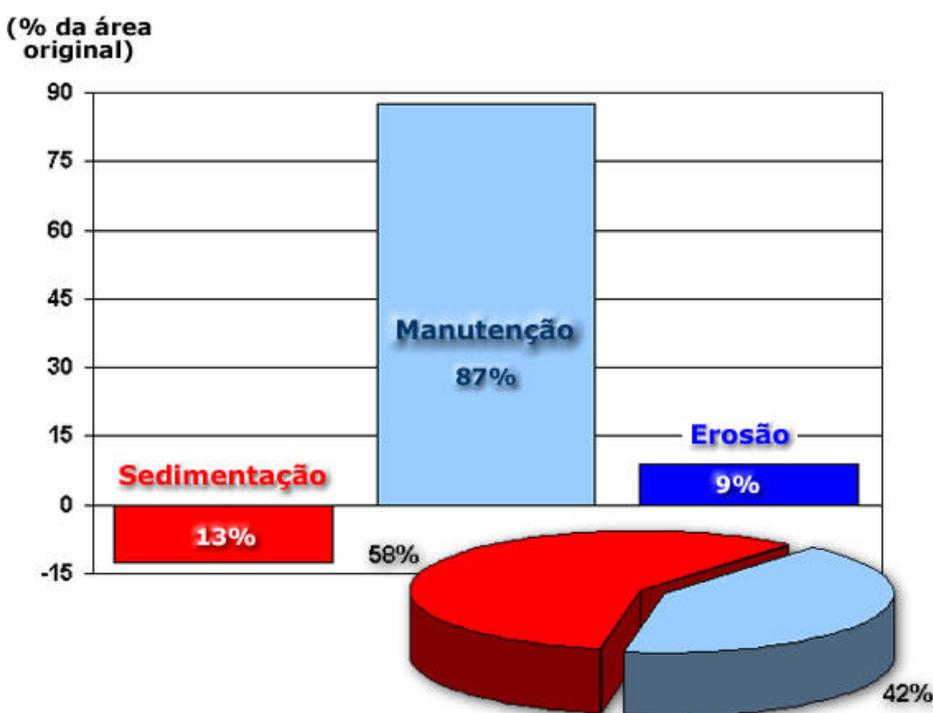
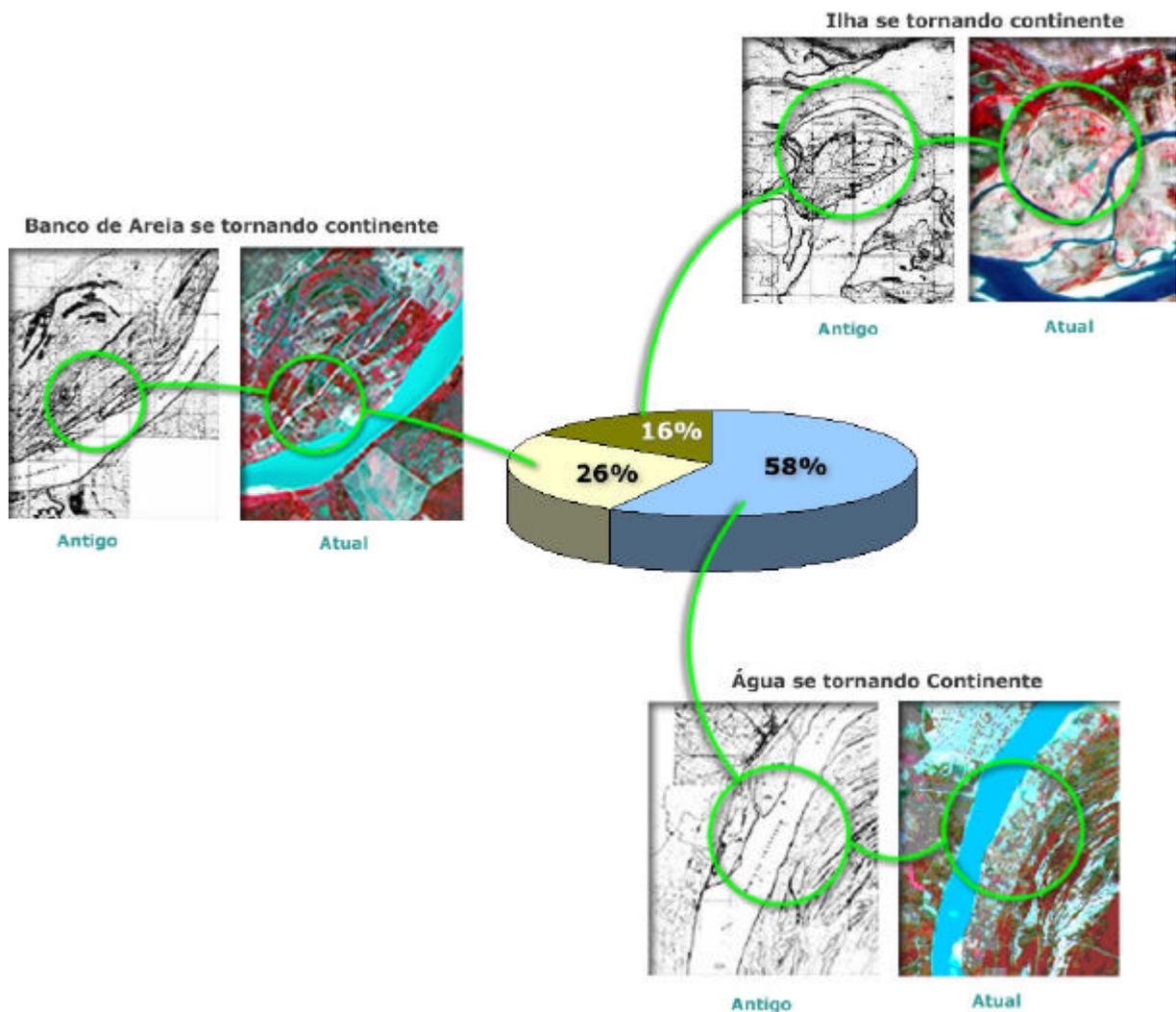


Figura 109. Comportamento dos itens analisados no estudo das margens.



**Figura 110. Composição original das áreas que sofreram sedimentação e se fixaram ao continente.**

Cerca de 26% era representada por bancos de areia, na sua maioria depósitos marginais, que se fixaram ao continente com a formação de vegetação. A água representava, por sua vez, cerca de 58% das áreas que sofreram sedimentação.

Em suma, pode-se dizer que, na maior parte da área, os resultados obtidos para a erosão e sedimentação das margens refletiram a redução de vazão ocorrida no período analisado. Entre os módulos 49 e 51 houve superavaliação da erosão em função do uso de imagens onde o rio aparecia com vazão acima da média, afetando a definição da conformação atual.

A partir do módulo 60, o uso de imagens onde o rio aparece com vazão abaixo da média e uma conjunção de fatores que incluem o 'efeito delta' causado pela proximidade do reservatório de Sobradinho, a extensa planície de inundação, a existência de áreas doadoras de sedimentos arenosos, entre outros, fizeram com que os resultados apresentassem comportamento irregular, carecendo de um estudo mais detalhado para a qualificação das mudanças ocorridas.

- **Relação entre a composição original das áreas que sofreram sedimentação e o grau de alteração**

A maior percentagem de água na composição original das áreas agregadas ao continente é um indicativo da maior quantidade de processos que ocorreram para que houvesse a fixação à terra firme. Assim, este percentual pode servir de parâmetro para avaliar a quantidade de processos necessários para que a conformação antiga do rio atingisse a conformação atual.

Note-se que, este parâmetro tem uma ligação inversa com o grau de alteração, pois quanto mais processos eram necessários para ocasionar uma mudança, menor a chance dela ocorrer.

Com isto, a análise da composição original das áreas sedimentadas mostra que o grau de alteração se associa ao tipo de mudança ocorrida no local, sendo maior quando as mudanças são as que ocorrem de forma mais direta, como a fixação de uma ilha ou banco de areia marginal ao continente.

No conjunto observa-se que a parte inicial do rio, até a altura de Manga, apresenta um comportamento diferenciado, onde o maior percentual de água se associa a um grau de alteração mais alto e à predominância da sedimentação com relação ao trecho seguinte, mostrando que a maior energia está retrabalhando as margens e depositando o material dentro do próprio trecho.

A jusante deste ponto, os trechos onde a água constituía um percentual menor que o do trecho a montante, mostraram aumento do grau de alteração. A maior percentagem de ilhas como área original adicionada ao continente se associa ao grau de alteração, ficando esta relação bem clara no trecho Xique-Xique-Vereda do Sacão.

- **Relação entre as alterações observadas e o comportamento das vertentes, da planície de inundação e da configuração do leito**

A Figura 113 mostra a variação na conformação do leito atual em toda a área analisada através de fotos ilustrativas.

Em suma, na sua porção inicial, o rio tem mais competência, pois há um gradiente mais elevado, o que aumenta a energia potencial disponível para realizar modificações na conformação do leito.

Entretanto, nesta porção inicial também se encontram margens mais encaixadas e vertentes bem definidas e a energia mais elevada só causa alterações intensas quando são encontradas áreas propícias a estas modificações, representadas pelas várzeas nas planícies de inundação onde o solo está mais suscetível a mudanças devido ao comprometimento de sua estrutura pelo excesso de água e a vertente do rio não está tão encaixada.

Em virtude disto, mesmo nesta porção inicial do rio, as áreas aonde há barrancos e as margens são delimitadas por vertentes bem definidas, apresentaram mudanças relativamente menores.

A partir de jusante de Ibotirama em direção a Sobradinho, são observadas mudanças mais intensas na conformação. Três fatores podem ser aventados para explicar este comportamento. Primeiramente, as áreas com vertentes encaixadas se tornam mais raras e, com isto, o rio pode retrabalhar mais facilmente as suas margens.

Em segundo lugar as áreas com várzeas na planície de inundação se tornam mais amplas o que, associado às vertentes menos encaixadas, permite que áreas extensas sejam inundadas durante as cheias e, com a energia mais intensa deste período, sejam retrabalhadas. Em terceiro lugar, a diminuição da energia contribui para o aumento da sedimentação que ocorre tanto nas margens quanto no leito, causando sedimentação das margens e acreção das ilhas nas áreas de menor energia de transporte.

Esta acreção das ilhas, por sua vez, força a abertura lateral do canal, fazendo com que ocorra a erosão das margens onde a água é forçada a seguir um novo caminho. Desta forma, a mesma causa origina dois efeitos opostos: erosão e sedimentação das margens, aumentando assim o grau de alteração total observado.

Vale ressaltar aqui que a região do reservatório era, na primeira data analisada, uma área de forte gradiente devido à existência da cachoeira de Sobradinho e, com a inundação, tornou-se uma área de remanso.

Esta mudança brusca também causou alterações intensas na conformação do rio e, pelo que pode ser observado nos gráficos, esta interferência parece estar atuando a partir de jusante de

Barra, na altura do módulo 58, intensificando-se a partir de jusante de Xique-Xique, na altura do módulo 65.

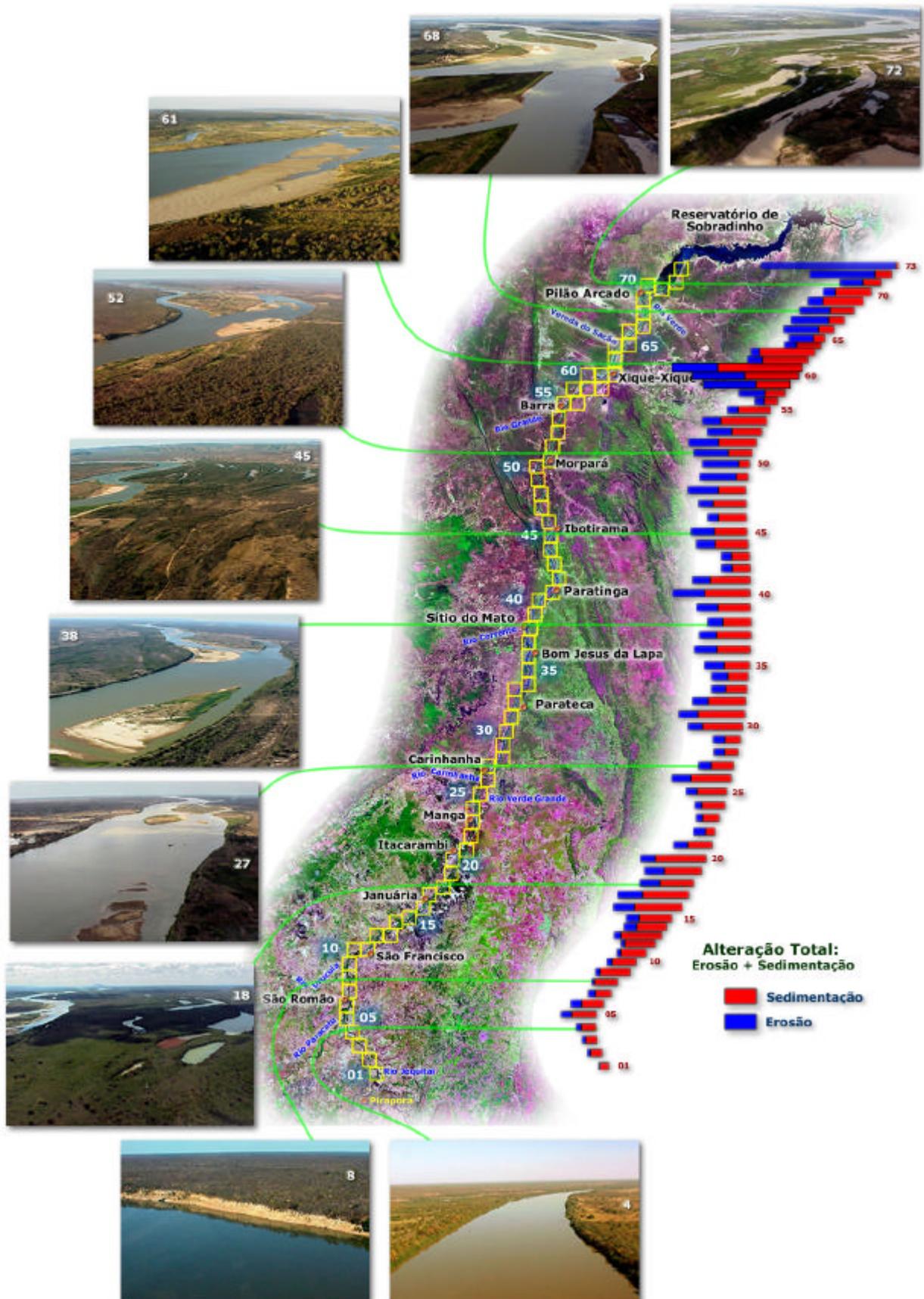


Figura 113. Variações da conformação do leito, das vertentes e da planície de inundação.

### 13.2. Comportamento das Ilhas

Chamou-se de acreção de ilhas a agregação de material a ilhas já existentes ou a formação de novas ilhas tendo esta acreção ocorrido com o avanço sobre áreas da corrente aquosa. A erosão, por outro lado, foi representada pela perda de áreas que originalmente eram ilhas. Neste caso, optou-se por diferenciar as perdas ocorridas para a corrente aquosa e para o continente.

Da mesma forma que na análise das margens, o processo de reagrupamento das classes de modo a identificar-se e quantificar-se as alterações na conformação das ilhas foi aplicado para os 72 módulos de mapeamento, sendo calculadas as áreas de cada um dos quatro itens analisados.

Em seguida fez-se a análise gráfica dos dados obtidos utilizando-se dois parâmetros: a alteração total, representada pela soma da erosão com a acreção, e o balanço, representado pela diferença entre estes, conforme pode ser visto na Figura 114.

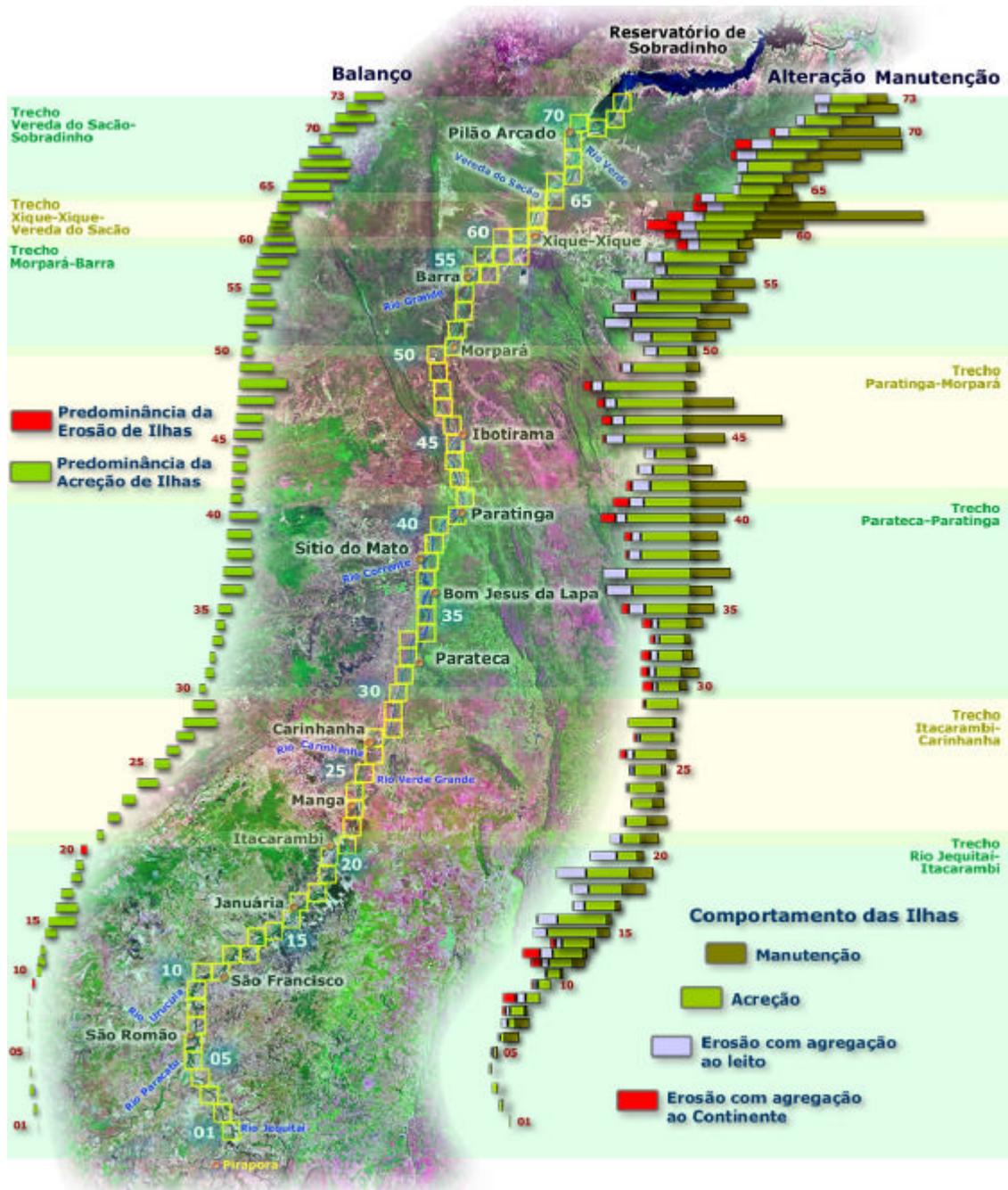


Figura 114. Comportamento da erosão e acreção das margens, utilizando os parâmetros alteração total e balanço. O comprimento das colunas é proporcional à área em km<sup>2</sup> de cada item.

Conforme descrito no capítulo referente à metodologia, o comportamento destes dois parâmetros foi utilizado para definir trechos onde a área foi analisada. Estes trechos diferem levemente daqueles utilizados para a análise das margens, pois as alterações que ocorreram nas ilhas se distribuíram de forma diferente e, desta forma, foram enfocadas em conjuntos distintos.

Na figura também é apresentada a área de manutenção das ilhas, do lado direito em verde escuro. Unindo-se esta área à correspondente à acreção, indicada em verde claro, tem-se a área atual das ilhas.

Se for feita a associação com as áreas correspondentes à erosão com agregação ao continente e com agregação ao leito, tem-se a antiga área das ilhas em cada módulo. O balanço é apresentado do lado esquerdo da figura e ressalta as áreas onde predominou a acreção em verde claro, e aquelas onde predominou a erosão em vermelho.

### **13.2.1 Trecho Rio Jequitai-Itacarambi**

Este trecho estende-se da foz do Rio Jequitai, na altura do módulo 1, até jusante de Itacarambi, na altura do módulo 21. Nele tem-se a predominância da acreção das ilhas sobre a erosão, com exceção dos módulos 9 e 20, onde há erosão supera a acreção.

Quanto à alteração total, ela também mostra uma tendência de crescimento a partir do início do trecho com picos na altura dos módulos 09, 13, 15, 16 e 19, com redução a partir deste ponto. Entre São Francisco e Januária observa-se uma predominância da fixação de ilhas ao continente em relação à perda para a corrente aquosa.

A Figura 116 apresenta o módulo 5 que mostrou apenas a formação de uma pequena ilha na conformação atual, sendo que na conformação antiga elas estavam completamente ausentes.

Neste módulo tem-se a foz do rio Paracatu, que é mostrada na Foto 25. Observa-se que na data em que a foto foi obtida (10/08/2002) o rio São Francisco apresentava uma carga de sedimentos superior à apresentada pelo rio Paracatu, evidenciada pela diferença na coloração da água, que apresenta um tom verde para o Paracatu e marrom para o São Francisco.

A carga de sedimentos dos dois rios é, entretanto, variável, pois na imagem apresentada na Figura 116 é o Paracatu que apresenta uma coloração mais clara, indicando que está com maior quantidade de sedimentos em suspensão.

A maior contribuição de sedimentos do rio Paracatu para o rio São Francisco parece ser o mais comum, apesar da situação mostrada na foto, pois a jusante da foz os sedimentos trazidos pelo Paracatu formaram bancos de areia e uma pequena ilha, como pode ser visto tanto na imagem de satélite quanto na Foto 26.

Nesta última vê-se ainda que a água do Paracatu não se mistura imediatamente à do São Francisco e escoia preferencialmente próximo à margem esquerda onde os sedimentos trazidos estão sendo acumulados, formando bancos de areia e uma pequena ilha. Também pode-se observar que a baixa ocorrência de ilhas ou ausência total que ocorre do módulo 1 ao 7, está associada a uma conformação de canal específica, com o leito encaixado e vertentes bem definidas.

### **13.2.2 Trecho Itacarambi-Carinhanha**

Este trecho estende-se de jusante da cidade de Itacarambi, na altura do módulo 21, até montante de Parateca, na altura do módulo 30. Ele é caracterizado pelo aumento progressivo da predominância da acreção de ilhas com um pico próximo a Carinhanha, na altura do módulo 28, daí havendo uma redução até o final do trecho.

Na altura da foz do rio Carinhanha (módulo 26) observa-se uma predominância da erosão com perda para o continente, que se repete no módulo 30. Nos demais módulos ocorre geralmente a perda para o leito.

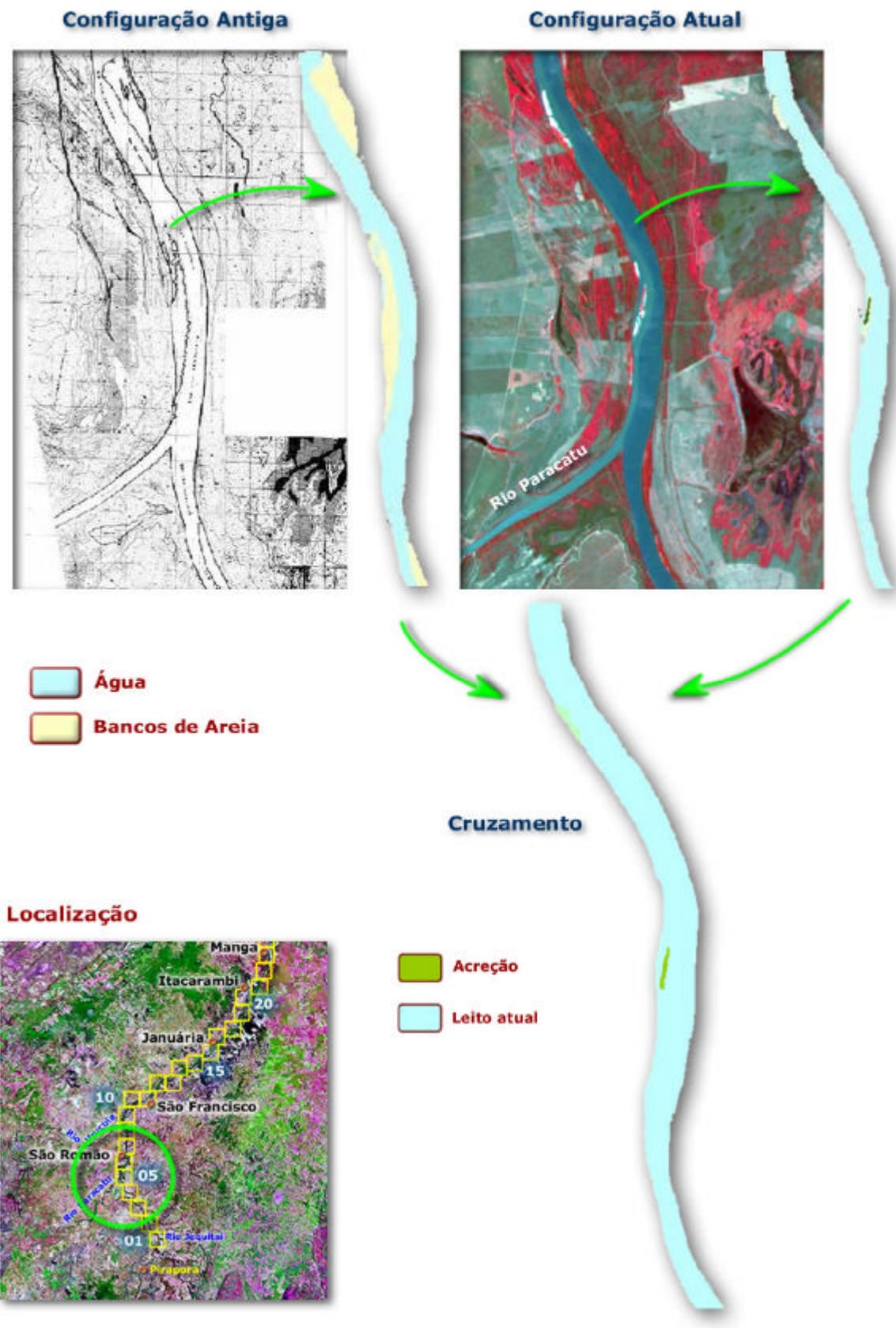


Figura 116. Área do módulo 5 onde ocorreu apenas o surgimento de uma pequena ilha na porção central do módulo.



**Foto 25.**  
Foz do rio Paracatu no São Francisco onde se observa a diferença na coloração da água, associada a uma maior carga de sedimentos no São Francisco, na data em que a imagem foi obtida (10/08/2002).



**Foto 26.**  
Bancos de areia e ilha formada a jusante da foz do rio Paracatu em função dos sedimentos trazidos por este rio e depositados no São Francisco. Observa-se ainda o leito encaixado com vertentes bem definidas.

### 13.2.3 Trecho Parateca-Paratinga

Este trecho se estende de montante de Parateca, na altura do módulo 30, até jusante de Paratinga, na altura do módulo 41. Nele tem-se um aumento progressivo da predominância da acreção das ilhas sobre a erosão, com picos nos módulos 37 e 40.

A alteração total também apresenta um comportamento muito semelhante, com picos nos mesmos módulos, destacando-se o fato de que apenas nos módulos 36 e 37 não ocorre perda de ilhas para o continente.

A erosão de ilha com agregação da área ao leito correspondeu a cerca de 19% da alteração total, o que também representa um aumento significativo com relação ao trecho anterior, onde este percentual foi de 10%. A acreção correspondeu a 66% da alteração total, sendo que no trecho anterior este percentual estava acima de 80%. Com isto, neste trecho tem-se um grau de alteração mais elevado com uma contribuição mais efetiva da erosão de ilhas.

### 13.2.4 Trecho Paratinga-Morpará

Este trecho se estende de Paratinga, na altura do módulo 41, até montante de Morpará, na altura do módulo 50. Ele é caracterizado, assim como os anteriores, por aumento progressivo na predominância da acreção sobre a erosão, que atinge um pico no módulo 48, reduzindo-se a partir daí até o fim do trecho.

A alteração total apresenta um valor no início do trecho, seguindo-se uma redução até o módulo 44, com crescimento progressivo do módulo 45 até o 48 onde se repete o comportamento observado para o balanço, com redução até o final do módulo.

### 13.2.5 Trecho Morpará-Xique-Xique

Este trecho se estende de montante de Morpará, na altura do módulo 50, a montante de Xique-Xique, na altura do módulo 58 (lembrando que o módulo 59 não foi utilizado na análise multi-temporal). Neste trecho o predomínio da acreção de ilhas apresenta um aumento progressivo até o módulo 53, onde há uma redução e o comportamento se repete com um pico no módulo 57.

A alteração total também apresenta um comportamento crescente com picos nos módulos 52, 55 e 58. De acordo com o gráfico em fatias, 4% da alteração total foi representada pela erosão de ilhas com agregação da área ao continente, cerca de 26% pela erosão com agregação ao leito e cerca de 70% pela acreção. Com relação ao trecho anterior houve uma redução da erosão com agregação ao continente e um aumento da erosão com agregação ao leito e da acreção.

### 13.2.6 Trecho Xique-Xique-Vereda do Sacão

Este trecho se estende de montante de Xique-Xique, na altura do módulo 58 (o módulo 59 não foi utilizado na análise temporal), até a altura do módulo 65, onde deságua no rio São Francisco a Vereda do Sacão.

A principal característica deste trecho é o elevado grau de alteração associado a uma relevante agregação de ilhas ao continente. De acordo com o gráfico, a erosão de ilhas com agregação ao continente corresponde a cerca de 18% da alteração total. A erosão com agregação ao leito perfaz 21%, enquanto 61% se referem a acreção. Estes percentuais mostram que a erosão com agregação ao continente representa cerca de 45% da erosão observada neste trecho. Este percentual variava nos trechos anteriores de 15% a 30%.

A Figura 140 apresenta o módulo 64 onde ocorreu uma importante predominância da acreção que, de acordo com o gráfico em colunas, correspondeu a mais de 200% da área original. A erosão, que correspondeu a cerca de 30% da área original, ocorreu com agregação da área ao leito.

O gráfico em fatias mostra que apenas 2% da área que se tornou ilha pertenciam originalmente ao continente, cerca de 63% eram compostos de água e cerca de 35% eram bancos de areia.

A Foto 38 mostra uma área na porção final do módulo 64 onde a conformação foi totalmente modificada com o surgimento de novas ilhas, conforme indicado. Esta parte do rio é bordejada à esquerda por terreno arenoso que limita a planície de inundação do rio.



Foto 38.  
Ilhas que surgiram na porção final do módulo 64.

Apesar da pouca coesão característica dos terrenos arenosos, estas encostas apresentam-se bastante estáveis, pois os mapas relativos ao final da década de 40 mostram que o seu contorno é muito semelhante ao atual. A vegetação tem um papel fundamental na manutenção desta estabilidade e a preservação da cobertura original desta área é muito importante para evitar um aporte adicional de sedimentos arenosos para o rio.

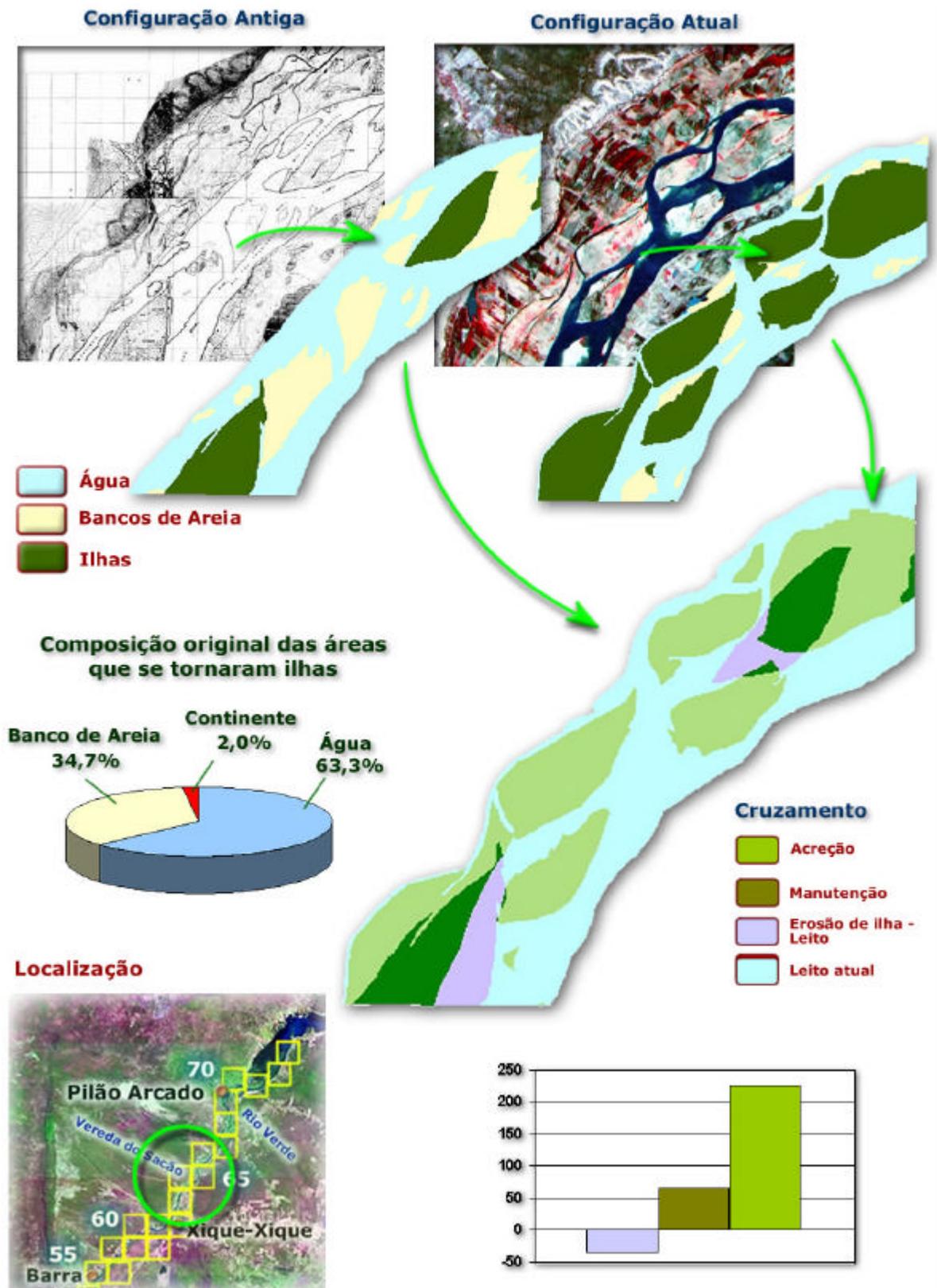


Figura 140. Área do módulo 64 onde ocorreu predominância da acreção de ilhas.

### 13.2.7 Trecho Vereda do Sacão-Sobradinho

Este trecho se estende da foz da Vereda do Sacão, na altura do módulo 64, até o início do reservatório de Sobradinho, onde foi posicionado o módulo 73. Neste trecho há uma tendência de redução da predominância da acreção das ilhas atingindo um valor mínimo na altura do módulo 69.

A alteração total, que tem um pico no início do trecho, na altura do módulo 64 (descrito no trecho anterior), reduz-se no módulo 65 passando a crescer progressivamente até o módulo 69, onde deságua o rio Verde. A partir daí sofre redução até o módulo 72. No módulo 73, onde ocorre um aumento das ilhas, as mudanças na conformação estão associadas à influência de Sobradinho e não foram consideradas nos valores apresentados nos gráficos.

### 13.2.8 Análise Integrada das Alterações das Ilhas

#### ▪ Acreção Generalizada das Ilhas

O gráfico em colunas apresentado na Figura 146 mostra que cerca de 70% da área original das ilhas foi mantida. Deve-se lembrar que, em virtude do intervalo de tempo de cerca de 50 anos entre as duas datas, em muitos trechos as ilhas sofreram modificação total de conformação, surgindo novas ilhas no lugar de ilhas antigas.

Neste caso, a área em comum das ilhas nas duas datas foi computada como manutenção, sendo este percentual superavaliado, enquanto o percentual de acreção, que é de cerca de 64%, foi subestimado.

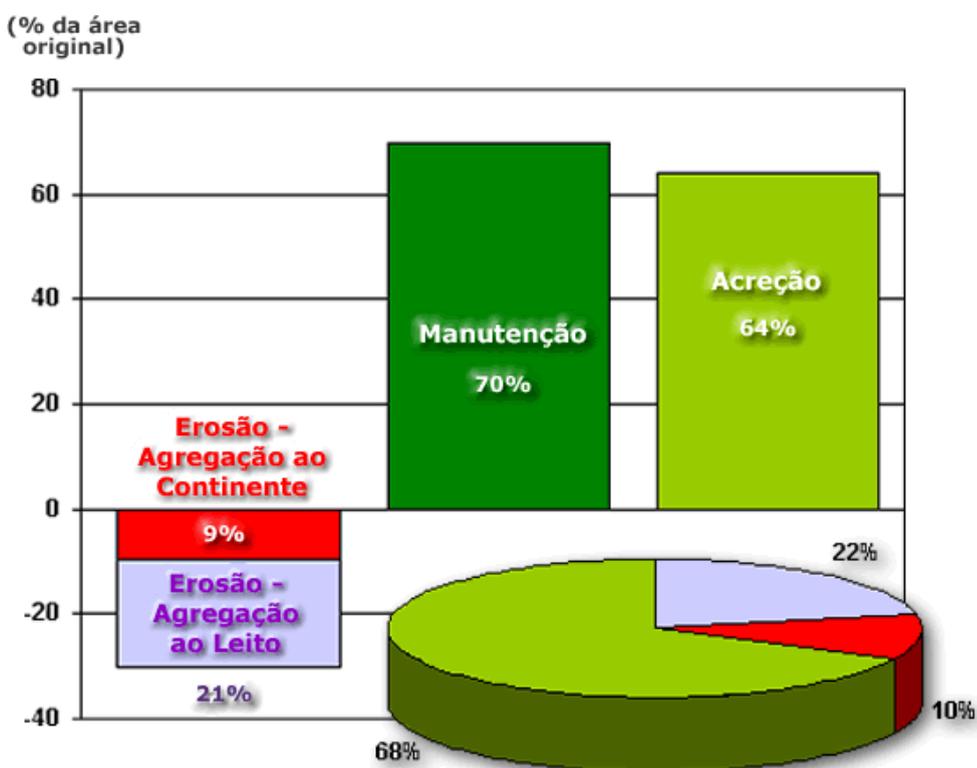
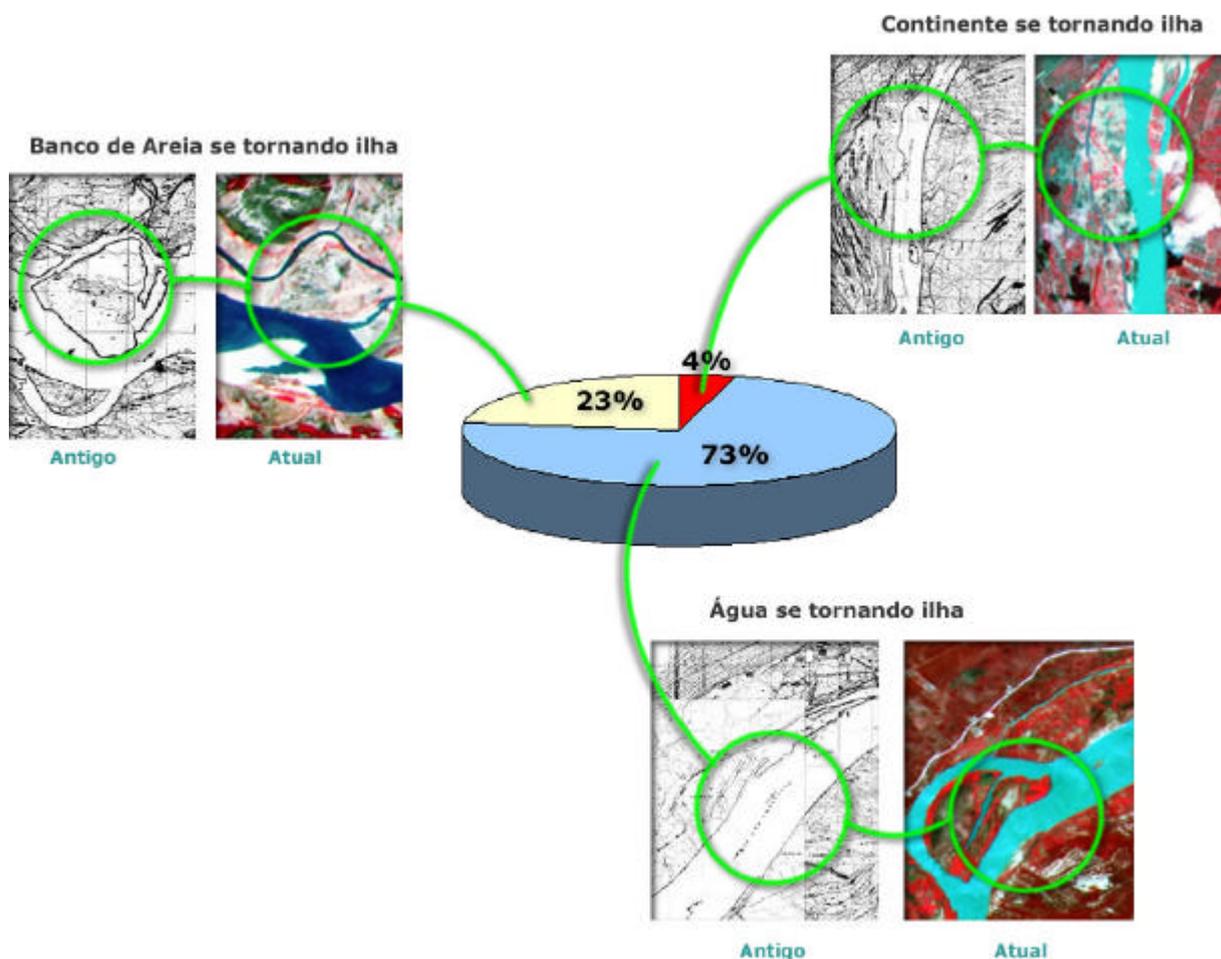


Figura 146. Comportamento dos itens analisados no estudo do comportamento das ilhas.

Para a erosão observa-se que as áreas que eram ilhas e se agregaram ao continente corresponderam a 9% da área original, enquanto 21% se agregou ao leito, totalizando 30%. Com isto, a área atual das ilhas é 34% maior que a da primeira data analisada, o que configura um percentual relevante, mesmo considerando-se fatores como diferença de vazão e cota entre as datas analisadas.

O gráfico em fatias mostra que, considerando-se apenas as modificações ocorridas, a acreção correspondeu a 68% deste total, a erosão com agregação da área ao leito a 22% e com agregação ao continente 10%.

A Figura 147 mostra a composição original das áreas que se tornaram ilhas. Os bancos de areia representaram 23% do total e representam áreas que já apresentavam uma característica de zona de deposição na primeira data e que podem ter se fixado como ilhas pela evolução do processo de fixação com o desenvolvimento de vegetação e acreção de material às suas margens.



**Figura 147. Composição original das áreas que se tornaram ilhas.**

Em contraposição às áreas originalmente com bancos de areia, que já indicavam zonas de deposição, as áreas que pertenciam originalmente ao continente ou faziam parte do espelho d'água passaram, necessariamente, por etapas adicionais de alteração antes de se configurarem como ilhas.

As áreas que pertenciam ao continente e que correspondem a cerca de 4% das ilhas atuais, passaram necessariamente por uma etapa de agregação ao leito, que pode ter ocorrido com formação de canal secundário ou com erosão das margens e posterior sedimentação.

As áreas compostas de água e que correspondem a cerca de 73% das ilhas atuais, passaram por uma etapa de sedimentação e posterior fixação como ilhas. No módulo 73, onde áreas do continente foram agregadas ao leito como ilhas pela inundação associada ao reservatório de Sobradinho, não foram computadas nos percentuais mostrados.

Em suma, o comportamento das ilhas mostra que a tendência à acreção predominou em toda a área, ocorrendo inclusive naqueles trechos onde a diferença de vazão poderia ter anulado este efeito. Isto indica que o processo de acreção das ilhas é mais persistente e coerente, sofrendo interferências menos relevantes de fatores como a diferença de cota.

Este processo causou um aumento de 34% da área das ilhas, tendo as maiores mudanças sido observadas nas áreas onde o leito apresenta uma planície de inundação mais extensa e menor nas áreas onde o leito é mais encaixado.

A interferência do ‘efeito delta’ causado pela proximidade de Sobradinho e a resposta diferenciadas das ilhas localizadas próximas às margens e as localizadas na porção central do leito afetou o comportamento das ilhas no trecho final da área, demandando estudos mais detalhados, além do mapeamento com a distinção entre as ilhas marginais e as centrais.

- **Análise da composição original e atual das áreas que sofreram acreção e erosão de ilhas**

A Figura 149 mostra, por trechos, a composição original das áreas que se tornaram ilhas através do processo de acreção e a composição atual das áreas que deixaram de ser ilhas, devido à erosão.

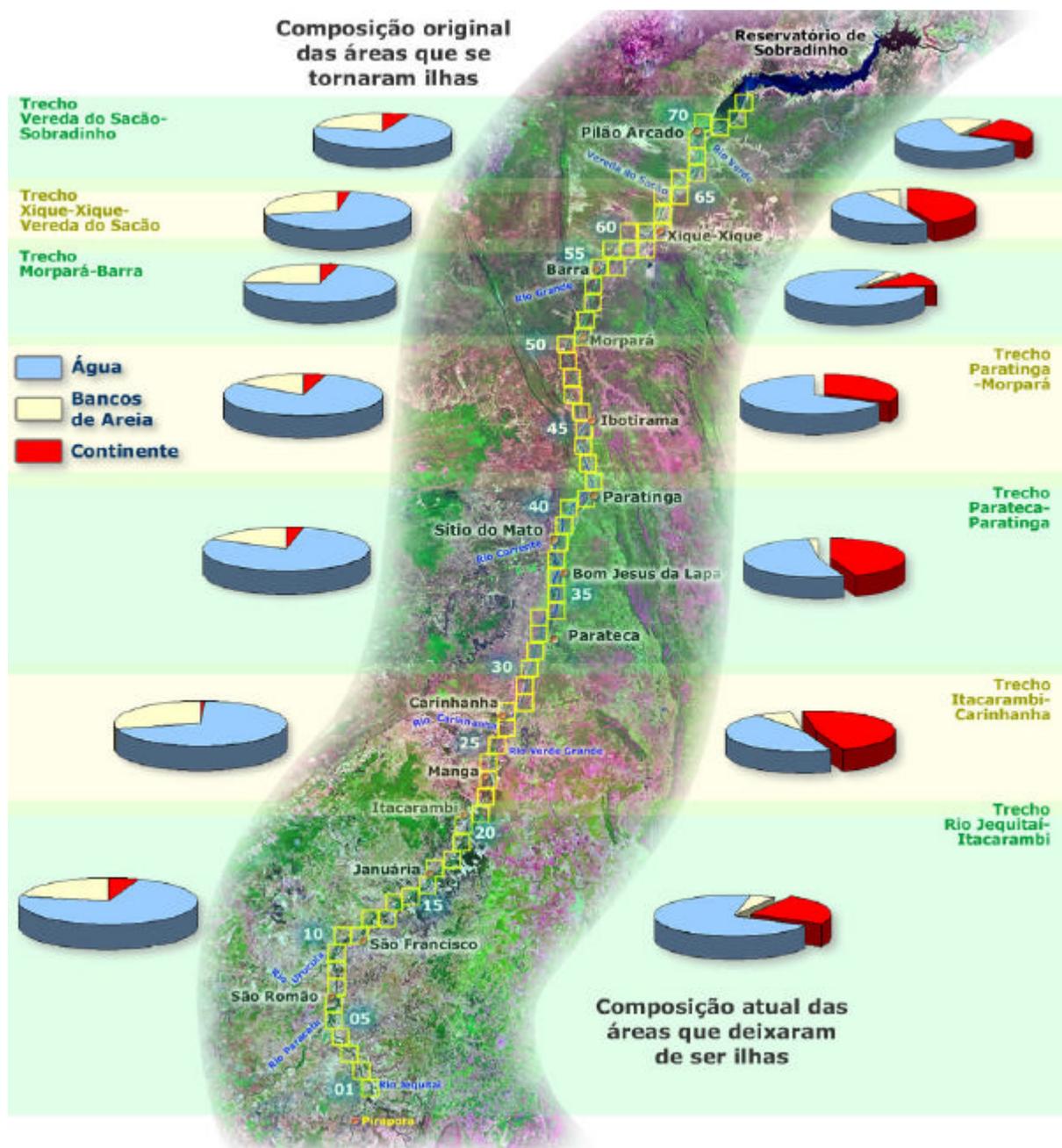


Figura 149. Análise da composição atual e original das áreas que sofreram, respectivamente, erosão e acreção de ilhas para todos os trechos estudados.

Em linhas gerais, o percentual de ilhas agregadas ao continente se associa à dinâmica de alteração das ilhas marginais, enquanto a erosão com agregação à corrente aquosa indica o grau de atividade na porção principal do canal.

Assim sendo, analisando-se a Figura 149 vê-se que em todos os trechos analisados a agregação das áreas à corrente aquosa predomina, indicando que há predominância da dinâmica de alteração na porção principal do canal.

Entretanto, nos trechos Itacarambi-Carinhanha (segundo da sequência, no sentido jusante), Parateca-Paratinga (terceiro da sequência) e Xique-Xique-Vereda do Sacão (penúltimo da sequência), chega-se próximo a um equilíbrio, com as áreas agregadas ao continente atingindo percentuais entre 40% e 48%, indicando que as alterações ocorridas com as ilhas marginais foi relevante nestas áreas.

Especificamente no trecho Xique-Xique-Vereda do Sacão, a agregação de ilhas ao continente foi relevante não somente em percentagem das áreas, mas em valor absoluto, pois neste trecho observou-se o maior grau de alteração das ilhas em toda a área estudada. A vazão abaixo da média do rio na imagem utilizada, pode ter intensificado este efeito, como será discutido no capítulo relativo às conclusões.

Entretanto, a mesma imagem foi utilizada no trecho Vereda do Sacão-Sobradinho e não se obteve o mesmo resultado, talvez devido à influência do reservatório que faz com que a cota não sofra variações tão intensas com as mudanças de vazão.

- **Relação entre as alterações das ilhas e o comportamento do leito, das vertentes e da planície de inundação**

A Figura 150 apresenta a relação entre a alteração observada para as ilhas, indica pelo gráfico em colunas que apresenta a acreção e erosão para cada módulo, e a conformação do leito, das vertentes e da planície de inundação mostrada no conjunto de fotos ilustrativas que abrangem toda a área estudada.

Observou-se, em suma, que as ilhas na porção inicial do trecho são estreitas e alongadas, acompanhando a tendência definida pelas vertentes encaixadas e o leito semi-retilíneo.

Na porção central da área o rio apresenta mais curvas e se alarga, permitindo a formação de ilhas mais extensas e com formas irregulares, geralmente na porção central do leito, pois as vertentes ainda apresentam-se bem encaixadas.

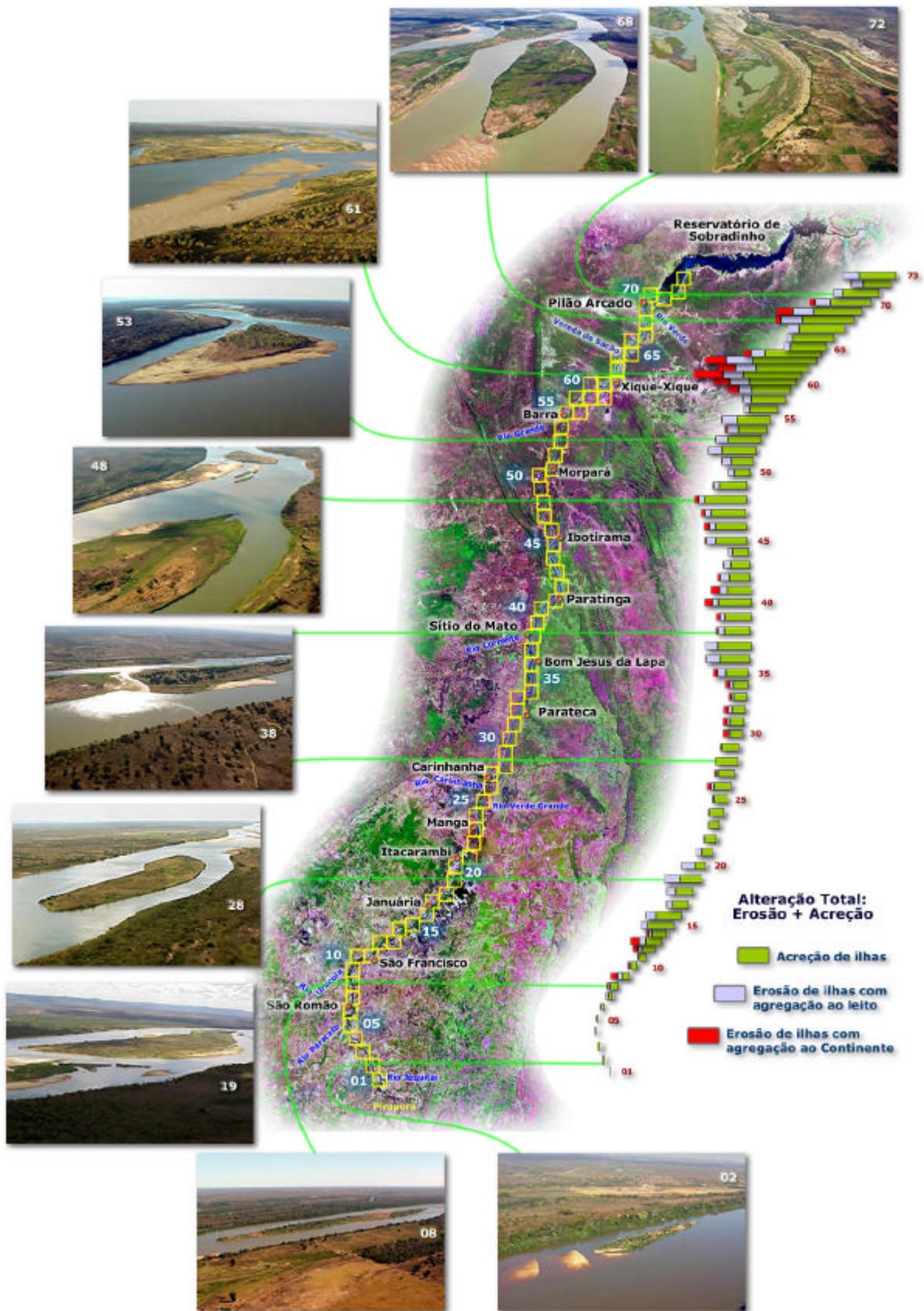
A jusante de Ibotirama o rio continua seu processo de alargamento do leito, com vertentes menos encaixadas e planícies de inundação cada vez mais extensas, o que se associa a ilhas mais amplas, com formas irregulares, geralmente associadas a bancos de areia e com o surgimento mais comum de ilhas marginais.

No final do trecho este processo se intensifica, caracterizando um anastomosamento do leito, com ilhas se formando lado-a-lado, forçando o surgimento de vários canais. As ilhas marginais se tornam mais comuns e os bancos de areia se associam tanto às ilhas quanto às margens, indicando um intenso processo de sedimentação.

Estas observações sobre a porção final do trecho se coadunam às referências ao ‘efeito delta’ notado ao se aproximar do remanso do reservatório de Sobradinho, com a expressiva redução da energia e um processo de sedimentação generalizado, como se o rio estivesse desaguando em sua foz.

### **13.3. Comportamento do Espelho d’Água**

A análise do comportamento do espelho d’água durante o período analisado demonstrou que seu comportamento não seguiu o que ocorreu com as ilhas e bancos de areia.



**Figura 150. Variações da conformação das ilhas, das vertentes e da planície de inundação**

Esta variação, entretanto, quando avaliada módulo a módulo, mostra um comportamento característico que fornece indicações sobre a dinâmica de alteração do rio. A Figura 151 confronta a variação percentual da água na composição do leito com a redução percentual da área do leito para cada módulo.

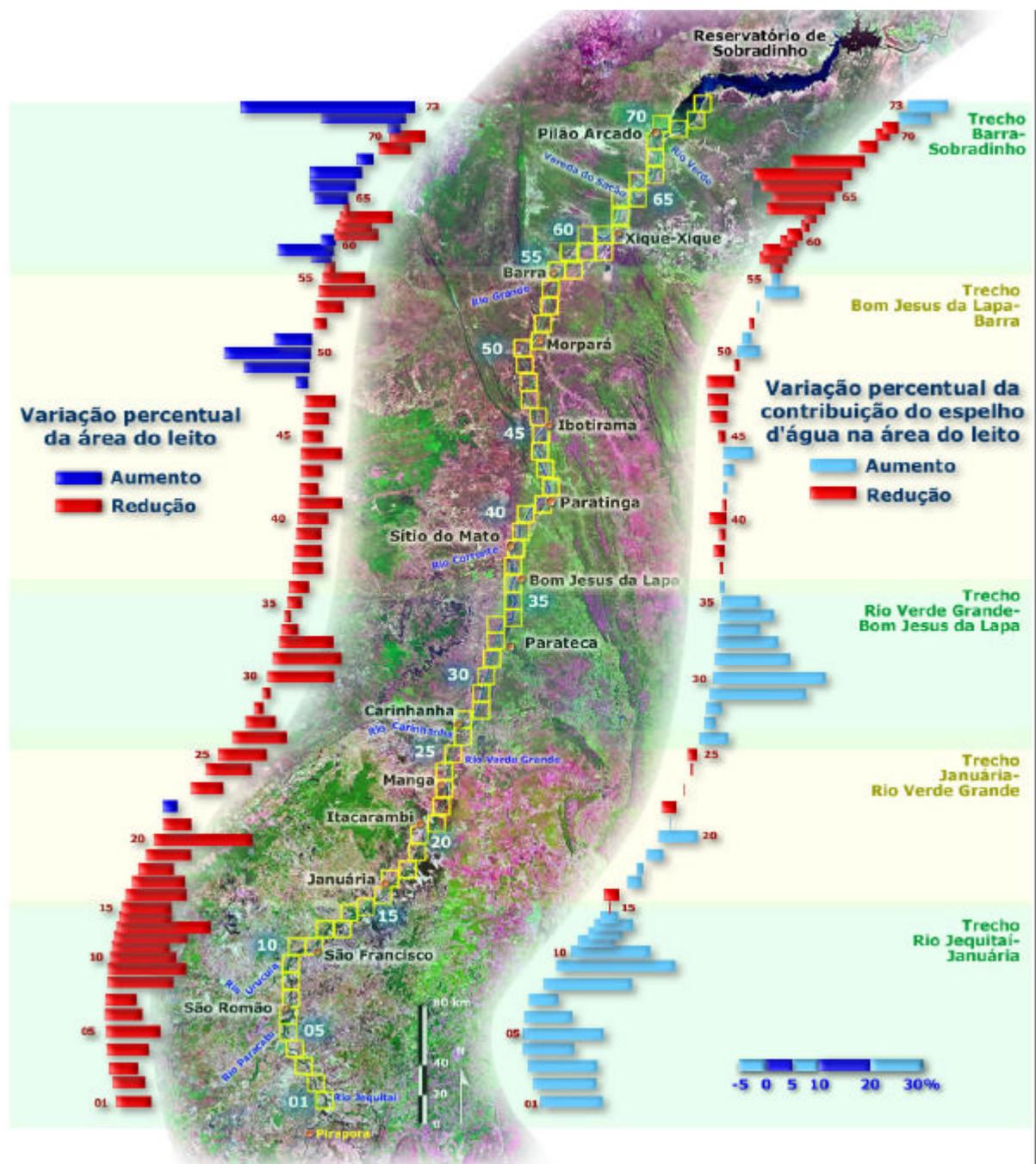


Figura 151. Variação percentual da área do leito e da contribuição do espelho d'água para toda a área analisada.

Nesta figura definiu-se trechos para facilitar a compreensão dos processos que ocorrem na área estudada. Nota-se que, o fato do espelho d'água não ter apresentado uma variação expressiva na percentagem da composição total da área do leito, se deveu a uma compensação que ocorre entre a parte que vai da foz do Rio Jequitaí até Barra, onde a percentagem d'água aumenta sensivelmente ou mostra equilíbrio, e o trecho de Barra até o reservatório de Sobradinho, onde predomina a redução do percentual do espelho d'água na composição do leito.

Em dois trechos o aumento do percentual da água é expressivo. No primeiro deles, denominado Rio Jequitaí-Januária, a percentagem de água aumentou em média de 10% a 20% com relação à área do leito. Já o leito teve uma redução de área da mesma ordem devido à predominância da sedimentação sobre a erosão das margens.

No trecho Rio Verde Grande-Bom Jesus da Lapa, observa-se o mesmo comportamento, sendo que a redução do leito é menos expressiva. Este comportamento pode indicar que o rio está

mais raso devido ao aumento da carga de fundo, forçando a água a ocupar uma área mais expressiva. Isto poderia explicar também a redução dos bancos de areia que antes estavam na superfície e agora estão compondo esta carga de fundo.

Dois outros trechos apresentam um comportamento onde o percentual de água está mais próximo do equilíbrio, ora com leve aumento, ora com leve redução. No primeiro deles, denominado Januária-Rio Verde Grande, o leito também sofre redução, como no caso anterior.

No trecho Bom Jesus da Lapa-Barra tem-se também o percentual da água próximo do equilíbrio, mas o leito sofre pouca redução e, nos módulos 49 e 50 houve um expressivo aumento, devido à influência da vazão do rio na imagem utilizada, que estava acima da média.

Esta diferença de comportamento indica que o processo de alteração está respondendo a outras variáveis nesta área e que, em função disto, tanto o leito quanto o percentual do espelho d'água estão se modificando pouco.

Finalmente, no trecho Barra Sobradinho tem-se um comportamento bastante diferenciado com expressiva redução do percentual de água, que ocorre independentemente de ter havido aumento ou redução da área do leito.

Pode-se concluir da Figura 151 que as alterações ocorridas na conformação do leito respondem a variáveis distintas, dependendo da área analisada. Enquanto em algumas áreas pode-se aventar uma diminuição da profundidade do leito, em outras isto não explica as modificações observadas.

No trecho final há sinais claros de um processo de assoreamento do tipo delta, que está associado à presença do reservatório de Sobradinho, causando uma diminuição do gradiente na área, o que se reflete na diminuição da energia de transporte a jusante do remanso do reservatório.

#### 13.4. Comportamento dos Bancos de Areia

Os bancos de areia mostraram uma redução generalizada que ocorreu em praticamente toda a área. Pode-se observar no gráfico em colunas da Figura 152 que cerca de 95% dos bancos de areia deixaram de existir. Por outro lado, novos bancos de areia surgiram representando um acréscimo que corresponde a 26% das áreas que continham bancos de areia na primeira data analisada, enquanto cerca de 5% da área original permaneceu como tal.

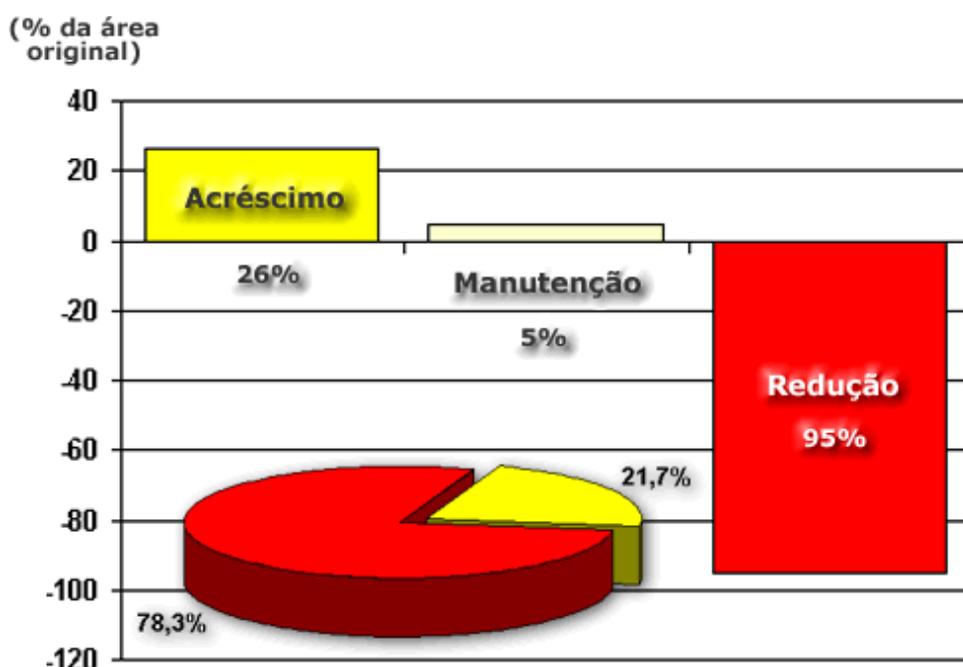
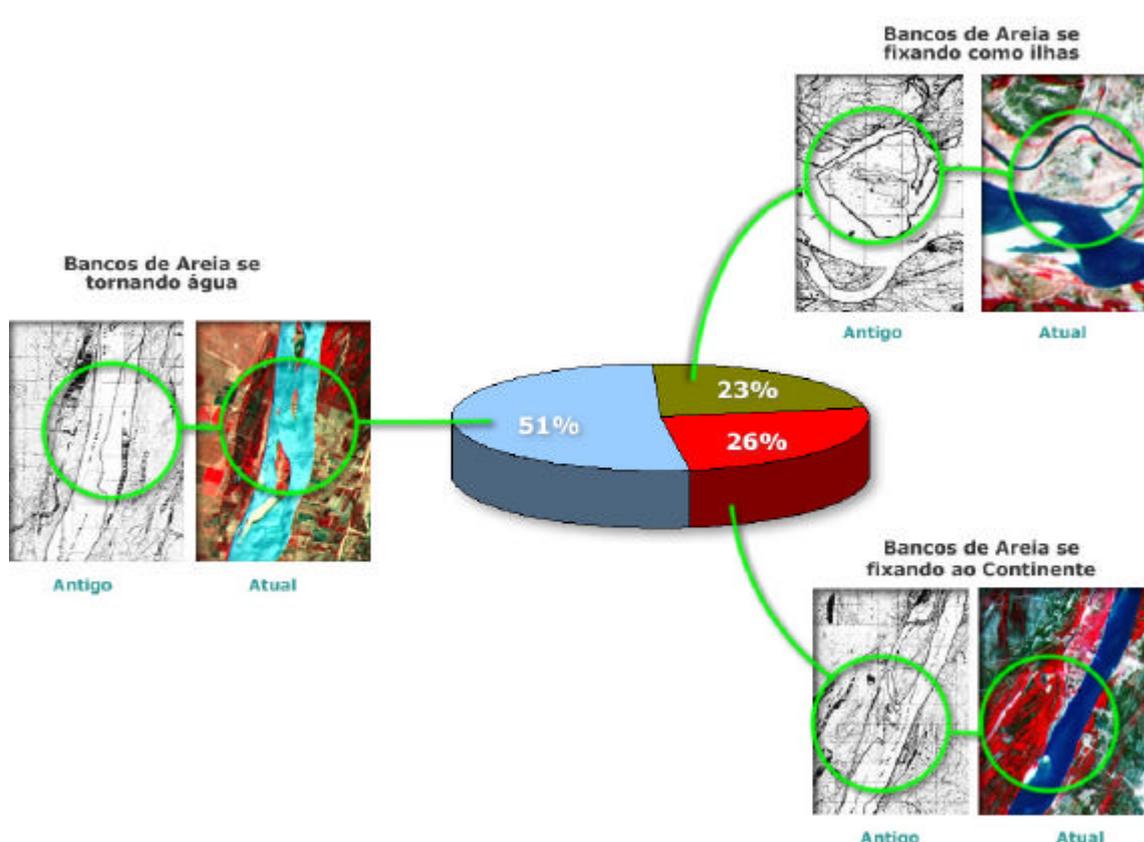


Figura 152.  
Comportamento dos bancos de areia.

O gráfico em fatias mostra que, excetuando-se a manutenção e considerando apenas as áreas que sofreram alteração, a redução correspondeu a cerca de 78% deste total, enquanto o acréscimo foi responsável por cerca de 22% das modificações.

A Figura 153 mostra que das áreas que deixaram de ser bancos de areia, 51% se tornaram água, 26% passaram a pertencer ao continente e 23% se tornaram ilhas. Os bancos de areia que se fixaram ao continente eram representados originalmente por depósitos marginais, como ressalta o exemplo mostrado na figura.

Os bancos de areia localizados dentro do canal, ao desenvolverem vegetação, se tornam estáveis e passaram a configurar ilhas, como indicado na figura. Os bancos de areia que se tornaram água podiam ser dos dois tipos e esta mudança reflete uma alteração efetiva na energia de transporte.



**Figura 153. Comportamento das áreas que deixaram de ser bancos de areia.**

Em conclusão, os bancos de areia sofreram uma redução acentuada no período, equivalente a 69% de sua área original. A consistência desta redução é mostrada por um comportamento que independe da cota, naqueles trechos onde a vazão tinha um comportamento anômalo. No trecho final da área, o 'efeito delta' está causando o acúmulo de bancos de areia, em contraposição ao comportamento observado no restante da área, fato que foi realçado pela vazão abaixo da média das imagens utilizadas para definir a conformação atual naquele ponto.

### 13.5. Variações Bruscas no Comportamento dos Parâmetros Analisados Associadas a Alargamento e Estreitamento do Canal

Na análise de todos os parâmetros estudados, como o balanço e a alteração total para margens e ilhas e a variação percentual da área do leito e do espelho d'água, notou-se que ocorrem variações bruscas. Apesar do uso da média móvel ponderada que suaviza estas variações, são visíveis várias mudanças deste tipo, sendo estas variações e inversões de comportamento um dos parâmetros usados para definir os trechos em que foram analisadas as ilhas e as margens.

A análise das áreas onde ocorreram estas variações bruscas mostrou que, geralmente, pode-se notar a presença de áreas com estreitamento ou alargamento de canal. A Figura 155 mostra alguns exemplos deste comportamento na altura dos módulos 20, 30/31, 41 e 58. Nas áreas onde ocorre estreitamento de canal tem-se um efeito de ‘represamento’, com redução da energia a montante e aumento a jusante.

Com isso ocorre um aumento da sedimentação até o ponto onde ocorre o estreitamento e, a partir daí, uma tendência ao predomínio da erosão. Esta mudança local na energia de transporte ocasiona, desta forma, as variações bruscas com predomínio da sedimentação de margens e acreção das ilhas sendo seguido pela erosão ou pela expressiva redução da sedimentação, como foi observado em toda área.

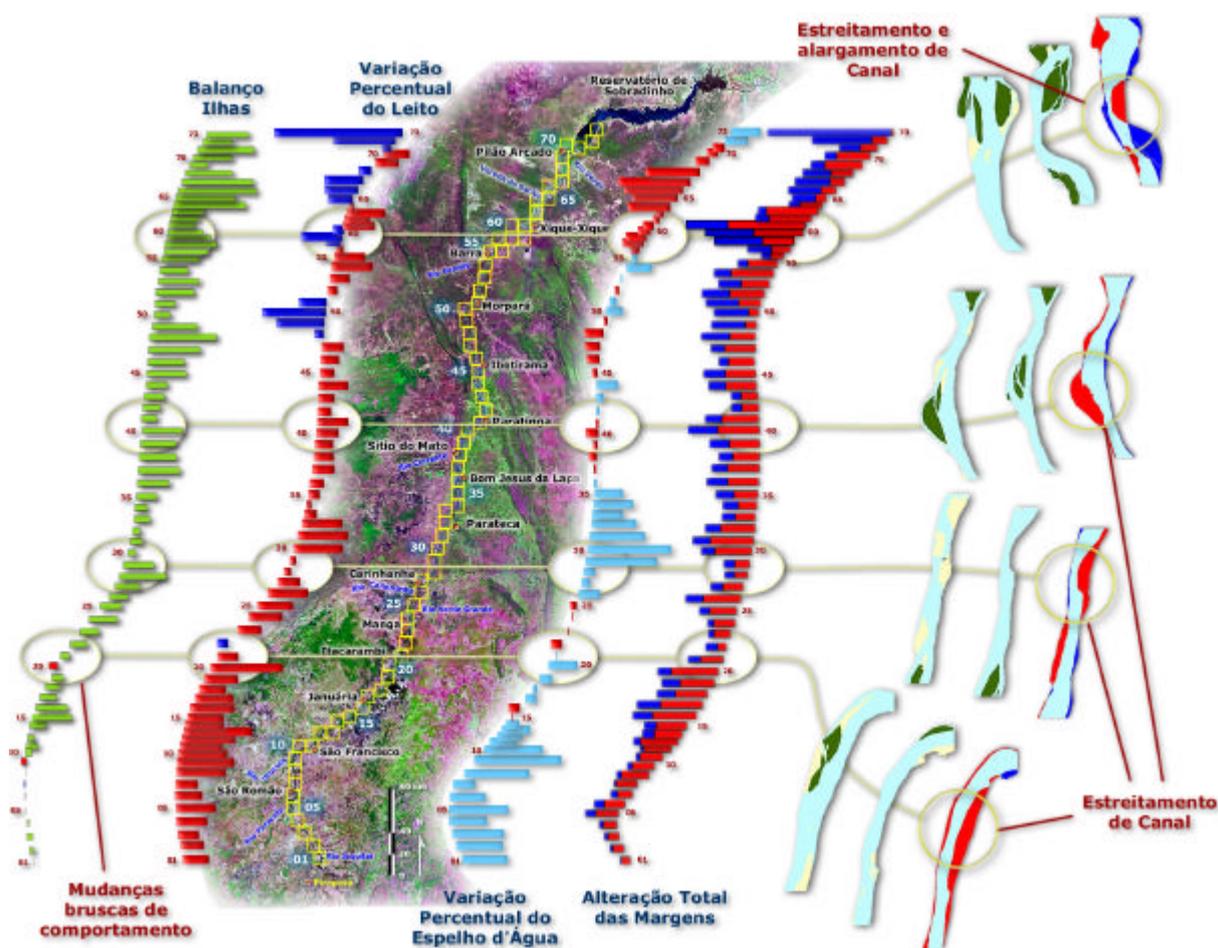


Figura 155. Variações bruscas no comportamento dos parâmetros analisados associadas a alargamentos e/ou estreitamento de canal.

Devido a esta importante interferência na dinâmica do rio, o mapeamento destas áreas e a caracterização do seu comportamento hidráulico é outro fator importante para subsidiar planos de desenvolvimento sustentável e/ou de revitalização para a Bacia do São Francisco.

### 13.6. Redução do Gradiente Hidráulico e Efeito Delta

A construção da represa de Sobradinho com a posterior inundação do reservatório, iniciada no ano de 1979, causou a redução do gradiente hidráulico e a consequente formação de um delta no remanso do reservatório, que se inicia na altura de Pilão Arcado.

Este processo ocorre pelo fato da água armazenada no reservatório de Sobradinho funcionar como um anteparo ou “amortecedor” do fluxo sedimentar, onde a onda de choque da água nos períodos de elevada pluviosidade é reduzida (ou induzida a diminuir devido à barragem).

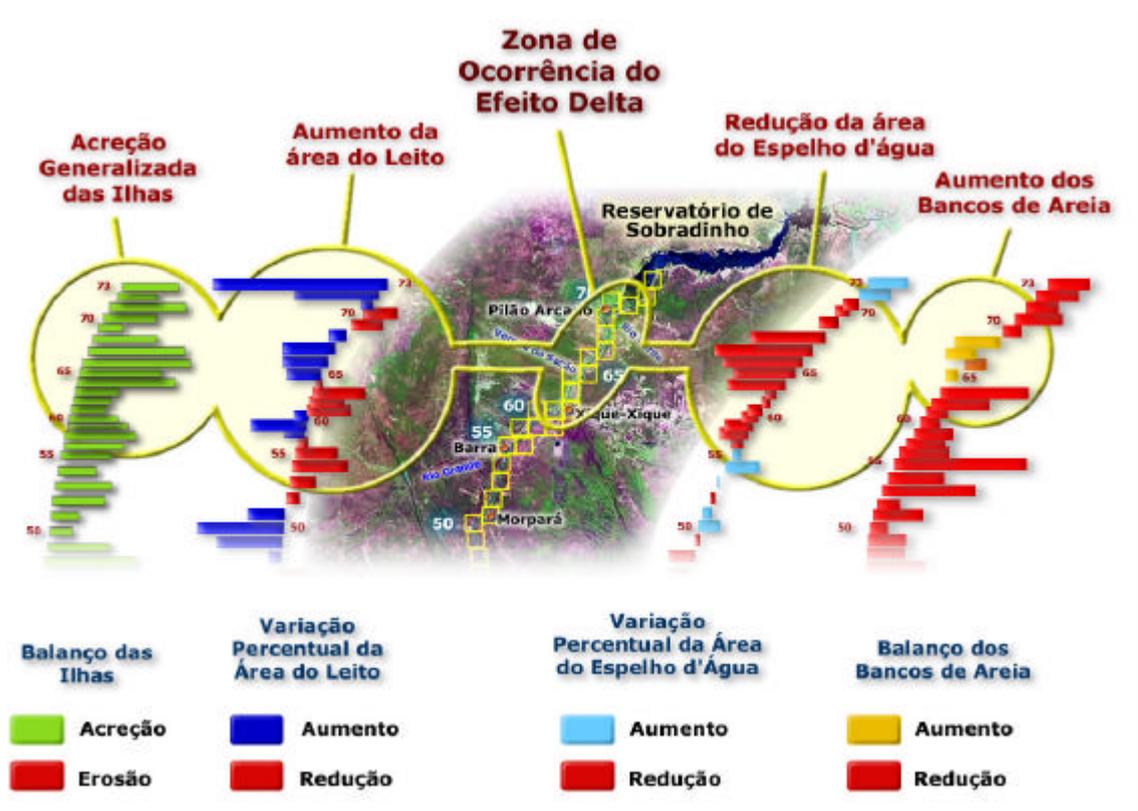
Esta redução de velocidade força a diminuição da velocidade do fluxo d'água que vinha arrasando e transportando os sedimentos, tanto os de suspensão quanto os de arraste, localizados mais na parte inferior do fluxo de água da calha do rio.

A redução da parcela do volume do fluxo de sedimentos em suspensão ou arraste comprova o fator atenuante do potencial devastador do fluxo, demonstrando que o lago da UHE Sobradinho possui um índice amortizador bastante grande.

Dentro do lago de Sobradinho, ao iniciar o contato das águas provenientes das enxurradas, que possuem fluxo turbulento e as que já estão em regime ou estágio de fluxo laminar, passa a atuar o poder atenuador da barragem na velocidade do fluxo de sedimentos.

Este fato favorece o acúmulo dos sedimentos, em especial na zona de remanso do reservatório UHE de Sobradinho, pois impede-os de continuarem escoando e limpando a calha do rio. Devido ao acúmulo de sedimentos na zona de remanso, já é perceptível a formação de um *delta* nesta zona, quando há período de longa estiagem.

A Figura 156 mostra que os parâmetros utilizados na análise da variação da conformação do leito apresentaram um comportamento conjunto diferenciado a partir de jusante de Xique-Xique.



**Figura 156.** Associação de fatores que indicam a ocorrência do processo de assoreamento característico das regiões de delta a partir de jusante de Xique-Xique.

Ressalta-se a associação entre aumento dos bancos de areia, acreção e anastomosamento das ilhas, redução do espelho d'água e alargamento do leito. Esta conjunção aponta para um processo de assoreamento característico de regiões de delta.

Este comportamento é oposto ao que se observou em outros trechos da área, principalmente a montante de Ibotirama. Neste caso, ocorreu uma redução dos bancos de areia que se associou a um aumento do percentual do espelho d'água. Este aumento, por sua vez, ocorreu em consequência da redução da área do leito.

A acreção das ilhas, apesar de haver ocorrido em toda a área estudada, se intensificou a jusante de Xique-Xique. A análise das imagens mostrou ainda uma tendência ao anastomosamento,

bastante característica das regiões onde o excesso de sedimentos força a subdivisão do canal principal.

Este anastomosamento força o alargamento do leito que é específico desta região e está bem caracterizado na Figura 151 – item 28.3. Este alargamento, entretanto, ocorre com redução do espelho d'água, indicando que ele está associado exclusivamente ao aumento das ilhas e dos bancos de areia.

A Figura 157 mostra exemplos das alterações observadas neste trecho ilustrados com fotos. Nota-se que as ilhas apresentam dimensões bem superiores às observadas na porção inicial da área e os bancos de areia aparecem em profusão.



**Figura 157.** Principais características da conformação do leito na região onde está ocorrendo o efeito delta.

Outro detalhe que pode ser observado nas fotos é que as ilhas têm pouca cobertura vegetal com uma composição predominantemente arenosa, indicando que são recentes.

Isto é compatível com o fato de que, sendo produto da sedimentação associada ao enchimento do reservatório, estas ilhas iniciaram seu processo de formação ou aceleraram a acreção a partir de 1979, enquanto as ilhas das regiões a montante de Xique-Xique são mais antigas, tendo desenvolvido uma cobertura vegetal mais definida.

## 14. CONCLUSÕES

A análise multitemporal mostrou que ocorreram diversas mudanças na composição do leito no período estudado (ver Figura 74). Estas alterações estão sintetizadas no Quadro 19, que apresenta ainda a caracterização da alteração, indicando a forma como ela foi realçada na análise multitemporal, e a referência para que se possa encontrar a descrição do processo em detalhes.

**Quadro 19. Alterações observadas, caracterização e referências.**

<b>Alteração Observada</b>	<b>Caracterização da Alteração</b>	<b>Referências</b>
Predominância da sedimentação das margens	Houve redução de 4% da área do leito, com o balanço mostrando que a sedimentação superou a erosão na grande maioria dos módulos.	Figura 75 (pág. 105) Item 28.1.8 (pág. 146) Figura 109 (pág. 147)
Acreção generalizada das ilhas	A área atual das ilhas sofreu um acréscimo de 34% em relação à área original, tendo o balanço mostrado o predomínio da acreção em 70 dos 72 módulos.	Figura 114 (pág. 155) Item 28.2.8 (pág. 190) Figura 146 (pág. 190)
Varição diferenciada da contribuição percentual do espelho d'água na composição do leito	O percentual do espelho d'água mostrou um comportamento diferenciado até Bom Jesus da Lapa, onde predominou um aumento, seguindo-se o equilíbrio, entre Bom Jesus da Lapa e Barra e, daí em diante, predominou a redução em função do 'efeito delta' associado à proximidade de Sobradinho.	Item 28.3 (pág. 198) Figura 151 (pág. 199)
Redução dos bancos de areia	A área atual dos bancos de areia corresponde a apenas 31% da área original, tendo ocorrido aumento relevante apenas na área próxima ao reservatório de Sobradinho.	Item 28.4 (pág. 200) Figura 152 (pág. 200)
'Efeito Delta'	A partir de jusante de Xique-Xique e aproximando-se do reservatório de Sobradinho, ocorre uma associação entre aumento dos bancos de areia, acreção e anastomosamento das ilhas, redução do espelho d'água e alargamento do leito, indicando um processo de assoreamento característico de regiões de delta.	Item 28.6 (pág. 203) Figura 156 (pág. 204) Figura 157 (pág. 205)

A forma como estas alterações ocorreram foi definida pela interação dos fatores que se alteraram no período analisado com os fatores fixos. Para facilitar a diferenciação, os primeiros foram chamados de condicionantes temporais, pois sua atuação ocorreu em função do tempo. Os demais foram chamados de condicionantes atemporais, já que sua atuação não depende do tempo.

Estes fatores são descritos a seguir e estão relacionados no Quadro 20 onde é apresentada a área afetada e os efeitos observados.

### ▪ Condicionantes Temporais

São os fatores que se modificaram no período analisado e cuja intensidade da atuação está associada ao tempo. Estes fatores foram representados por dois itens:

- a. **Redução da Vazão** - redução de cerca de 10% nas vazões médias anuais a partir de 1931 (ver Figura 71 – pág. 101), implicando em predominância da sedimentação das margens e acreção generalizada das ilhas.

Em função da redução de energia associada a esta redução de vazão, os bancos de areia também sofreram uma diminuição relevante, provavelmente por terem se deslocado para o fundo do rio, tornando o canal mais raso. Com isto o espelho d'água passou a representar um percentual maior da área do leito. Estes efeitos foram observados desde Pirapora até Xique-Xique.

b. **Redução do Gradiente Hidráulico** - o gradiente hidráulico sofreu redução em função do enchimento do reservatório de Sobradinho.

Com isto a área a jusante de Xique-Xique, que antes apresentava um gradiente crescente em direção à Cachoeira de Sobradinho, sofreu uma forte redução da energia com o fluxo d'água sofrendo uma desaceleração e 'desembocando' no reservatório.

Nesta área observou-se que a influência da redução da vazão foi atenuada devido ao efeito de estabilização da cota, tendo sido notados o aumento dos bancos de areia, a acreção generalizada das ilhas e a redução do espelho d'água, identificadas como modificações características do processo de formação de delta (ver Figura 156 – pág. 204).

▪ **Condicionantes Atemporais**

São os fatores fixos relacionados às características do substrato rochoso. Também foram representados por dois itens:

a. **Mudanças Locais na Conformação do Leito** - são representadas por curvas acentuadas, estreitamento e/ou alargamento do canal.

Estas mudanças locais fizeram com que as modificações associadas à redução da vazão e do gradiente hidráulico não afetassem o rio de forma regular e contínua. Com isto ocorreram fortes variações no comportamento das margens, ilhas, bancos de areia e espelho d'água em áreas onde a conformação original mostrava alguma variação brusca. Estas mudanças estão associadas à presença de falhas e fraturas geológicas de pequena extensão que condicionam localmente a forma e a direção preferencial de desenvolvimento do canal do rio.

b. **Mudanças Regionais na Natureza do Substrato Rochoso** - são as modificações a nível regional nas características do substrato rochoso, caracterizadas pela mudança do tipo de rocha sobre a qual o rio está esculpindo o seu leito.

Em termos regionais, há uma discordância litológica relevante na altura de Ibotirama (ver Figura 15 – pág. 21), onde o rio passa a correr sobre rochas que apresentam maior susceptibilidade ao retrabalhamento. Com isto, a planície de inundação se alarga, aumenta a ocorrência de lagoas marginais, veredas e diques aluviais e as vertentes se tornam menos encaixadas. Isto faz com que o rio, nos períodos de cheia, ocupe áreas mais extensas da planície e tenha maior facilidade para alterar a conformação do leito, retrabalhando as áreas onde a presença maior de água durante todo o ano instabiliza o solo.

Conforme indicado no quadro abaixo, esta interação foi complexa, pois os fatores agiram de formas distintas em cada trecho do rio. A Figura 158 espacializa estas informações e mostra como a distribuição destas interferências criou três trechos principais: Pirapora-Ibotirama, Ibotirama-Xique-Xique e Xique-Xique-Sobradinho.

Nestes trechos as modificações seguiram padrões que respondem à atuação combinada das condicionantes identificadas no trabalho. No trecho Pirapora-Ibotirama tem-se uma combinação da redução da vazão atuando sobre um substrato mais resistente.

No segundo trecho, denominado Ibotirama-Xique-Xique tem-se a redução da vazão atuando sobre uma área com substrato mais resistente. No trecho Xique-Xique-Sobradinho, tem-se a redução do gradiente hidráulico atuando sobre o substrato mais resistente. Desta forma, o conjunto das alterações observado em cada trecho foi diferenciado.

O estudo realizado não abrangeu todas as variáveis que ocasionaram as mudanças na conformação do leito, mas mostrou quais os principais parâmetros que estão definindo as alterações

ocorridas no período analisado e a tendência que estes parâmetros estão seguindo na sua interação.

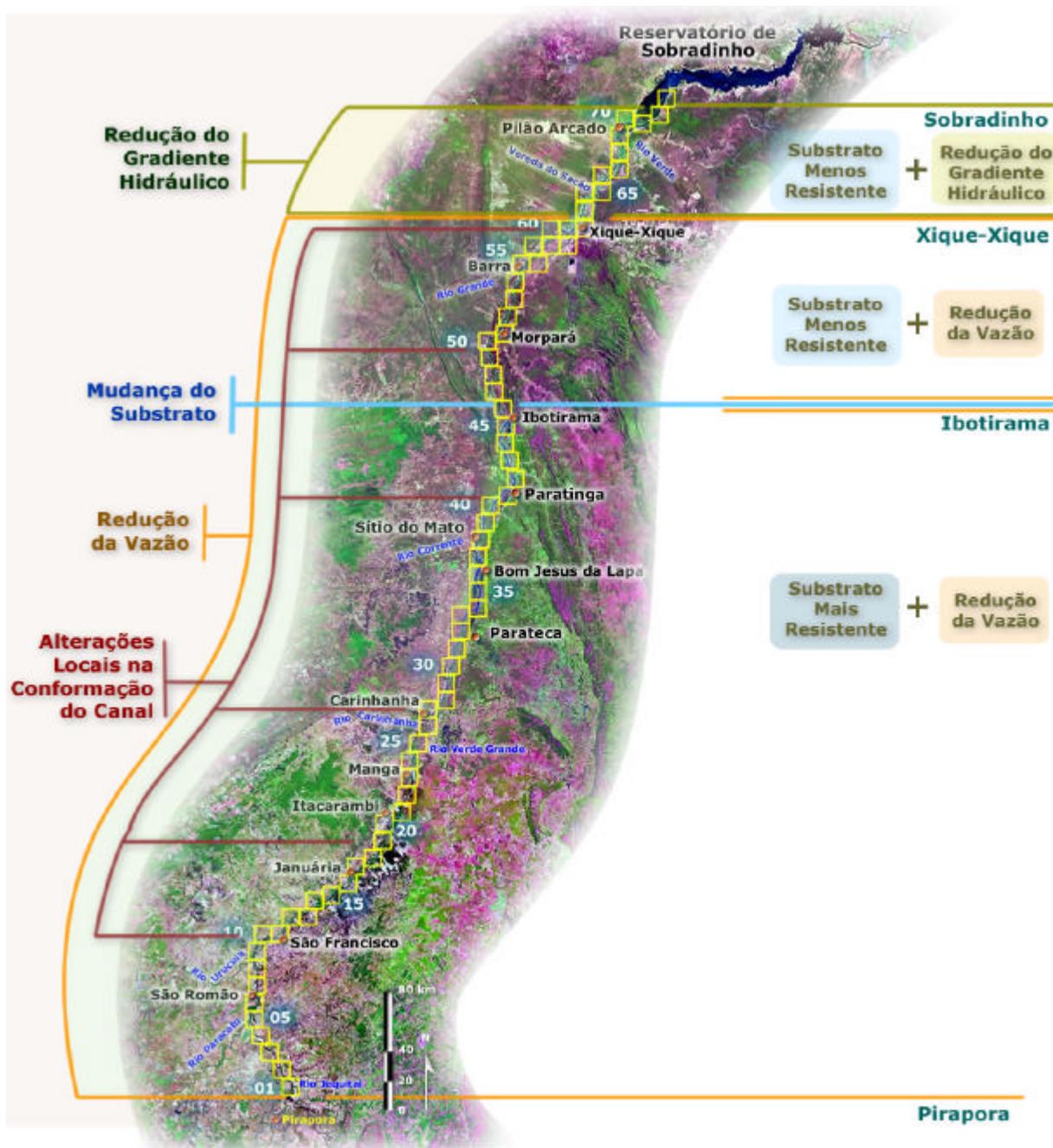
**Quadro 20. Comportamento das condicionantes temporais e atemporais, área de influência e efeitos observados.**

<b>Condicionantes Temporais</b>		
<b>Tipo</b>	<b>Área Afetada</b>	<b>Efeitos Observados</b>
? <b>Redução da vazão</b>	De Pirapora (MG) a Xique-Xique (BA)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Predominância da sedimentação das margens;</li> <li>• Acreção generalizada das ilhas;</li> <li>• Redução dos bancos de areia;</li> <li>• Redução da área do leito; e</li> <li>• Aumento da contribuição do espelho d'água na composição do leito.</li> </ul>
? <b>Redução do gradiente hidráulico</b>	De Xique-Xique (BA) ao remanso do reservatório de Sobradinho (BA)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Surgimento do 'efeito delta';</li> <li>• Acreção generalizada das ilhas;</li> <li>• Aumento dos bancos de areia;</li> <li>• Aumento da área do leito; e</li> <li>• Redução da contribuição do espelho d'água na composição do leito.</li> </ul>
<b>Condicionantes Atemporais</b>		
<b>Tipo</b>	<b>Área Afetada</b>	<b>Efeitos Observados</b>
? <b>Variações regionais no substrato</b>	Afeta toda a área estudada.  Uma discordância litológica importante na altura de Ibotirama (BA), divide a área em dois trechos distintos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modificação no grau de encaixe das vertentes;</li> <li>• Modificação na extensão das planícies de inundação; e</li> <li>• Modificação no grau de ocorrência de diques aluviais, veredas e lagoas marginais;</li> </ul>
? <b>Variações locais na conformação do canal</b>	Afeta porções restritas em toda a área estudada onde ocorrem estreitamento e/ou alargamento do canal, ou curvas acentuadas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Variações bruscas no comportamento dos parâmetros analisados; e</li> <li>• Inversão do balanço;</li> </ul>

Entre as variáveis não analisadas está a variação da carga e da natureza dos sedimentos transportados pelo rio. Apesar deste fator não ter sido considerado em função do tipo de estudo efetuado, os resultados obtidos indicam que uma eventual variação nesta carga de sedimentos não foi o fator definidor das alterações observadas.

Esta afirmação baseia-se no comportamento dos bancos de areia e das ilhas que mostraram tendências opostas (redução dos bancos de areia e aumento das ilhas). Além disto, não foram observados indicativos de assoreamento generalizado entre Pirapora e Xique-Xique, o que indicaria um aumento expressivo na carga de sedimentos.

A hipótese de um expressivo aumento na carga de fundo, com o Rio se tornando mais raso, poderia explicar a relevante redução dos bancos de areia, mas não pôde ser confirmada inequivocamente, nem tampouco refutada. Para tanto seria necessário um acompanhamento regular com a obtenção e análise de perfis transversais.



**Figura 158. Interação dos fatores que causaram as mudanças observadas na conformação do leito.**

Não obstante a variação da carga de sedimentos não ter sido analisada no presente trabalho, devido a sua importância na análise da dinâmica de alteração do Rio, é sugerido um estudo mais aprofundado com o estabelecimento de uma rede sedimentométrica que abrangeria toda a bacia do São Francisco.

Quanto à redução de vazão, a natureza do estudo realizado não permite identificar sua causa. Para que esta questão seja dirimida, também é sugerido um aprofundamento do presente estudo abordando-se, entre outras, a questão das variações climáticas no período.

Apesar do comportamento do Rio ser diferenciado em cada trecho, pode-se afirmar que, com a manutenção das condições atuais, persistindo a redução da vazão e também do gradiente hidráulico a jusante de Xique-Xique, deve-se progredir para um aprofundamento das alterações seguindo as linhas identificadas.

A identificação das alterações ocorridas deixa clara a tendência de mudança da conformação do leito que está se ajustando às novas variáveis. Isto permite planejar ações que visem compensar ou minimizar estes efeitos.

Desta forma, é importante que se continue a estudar o fenômeno, pois o desconhecimento das verdadeiras causas pode orientar ações equivocadas de revitalização ou até mesmo impedir regiões de se desenvolverem por conta de políticas preservacionistas mal direcionadas.

## **15. RECOMENDAÇÕES**

### **15.1. Alterações na Metodologia**

#### **15.1.1 Seleção das Datas das Imagens**

Sugere-se que seja feita uma análise dos dados de vazão obtidos nas estações fluviométricas e sejam definidas datas para aquisição das imagens onde a variação da vazão esteja dentro de limites que não influenciem a conformação do leito.

Como as imagens de satélite são afetadas pela presença de nuvens e a recorrência (período entre duas passagens do satélite) é da ordem de 15 dias, deverá ser definido um conjunto de datas ideais que satisfaçam a condição de vazões semelhantes. Adquirindo as imagens relativas a estas datas, a diferença de vazão poderá ser relevada.

Este procedimento aumentará os custos do trabalho, pois a maioria das imagens em acervo não poderão ser utilizadas, mas a confiabilidade dos resultados também será muito maior, pois não poderá ser aventada a hipótese de que as mudanças estão refletindo diferenças de vazão e cota e não apenas mudanças na dinâmica de alteração do rio.

#### **15.1.2 Definição dos Módulos de Mapeamento**

A utilização de módulos de mapeamento com área fixa em coordenadas geográficas (7,5" x 7,5") facilitou sobremaneira o trabalho de georreferenciamento e concatenação dos módulos. Entretanto, como a área do rio dentro de cada módulo variava, criou-se uma dificuldade adicional para avaliação dos resultados, já que a área modificada poderia ser mais ou menos representativa, dependendo da área do rio naquele módulo.

A solução adequada é definir-se os módulos com a área do rio fixa e não a área do módulo. Outra opção seria fixar-se o comprimento do canal principal, de modo que as modificações observadas em cada módulo seriam relativas a este comprimento. Isto tornaria o processamento mais complexo, mas geraria resultados mais fidedignos e de visualização mais direta.

#### **15.1.3 Diferenciação dos Depósitos Marginais e Mapeamento das Planícies de Inundação**

A diferença de comportamento entre as ilhas marginais e aquelas localizadas no centro do leito não pôde ser aferida adequadamente por não ter sido feita uma diferenciação entre estes dois tipos de depósitos. As ilhas marginais tendem a se agregar ao continente com redução da vazão, enquanto as ilhas 'centrais' tendem a sofrer acreção. Como os dois efeitos são opostos, em alguns locais este comportamento afetou o balanço, exigindo uma análise visual para se identificar os processos ocorridos.

Além disto, os bancos de areia marginais se fixam preferencialmente ao continente, enquanto os bancos 'centrais' são deslocados pelo fluxo da água ou são fixados como ilhas. Devido a estas distinções, estes depósitos marginais devem ser diferenciados para que se possa individualizar a análise do seu comportamento.

Dentro desta linha, as planícies de inundação, com suas várzeas, lagoas, diques aluviais, cicatrizes de leitos antigos, entre outras feições, também devem ser incluídas no mapeamento. No presente trabalho isto não foi possível porque as cartas topo-hidrográficas nem sempre cobriam toda a área da planície, impedindo a análise temporal.

Entretanto, utilizando as imagens de satélite disponíveis a partir de 1972, pode-se efetuar este mapeamento e a comparação das mudanças ocorridas entre as datas analisadas.

### **15.2. Mapeamento Temático do Médio e Alto São Francisco**

As regiões fisiográficas do Alto e Médio São Francisco têm influência sobre a área estudada e a inexistência de mapeamentos de uso da terra atualizados para estas regiões não permitiu que fossem avaliadas questões relativas à interferência antrópica sobre a dinâmica de alteração do rio.

Sendo assim, recomenda-se para toda a bacia o prosseguimento das atividades de mapeamento temático por sensoriamento remoto orbital, estendendo-se a área mapeada para a região do Médio São Francisco e efetuando-se a atualização do Alto, mapeado pela CODEVASF em 1996, e recuperado e editado pelo PROJETO GEF SÃO FRANCISCO. Desta forma, estaria disponível para toda a região um mapeamento temático baseado na mesma metodologia.

### **15.3. Cronograma de Execução e Atualização do Mapeamento Temático**

Conforme ficou comprovado nas áreas do Alto, Sub-Médio e Baixo São Francisco, os níveis de antropização são elevados. Apesar da degradação em si não ser muito intensa, este alto nível de antropização demanda uma supervisão regular e constante da área, visto que a interface entre área antropizada e degradada é bastante tênue.

Baseado nestes fatores e nos índices de antropização apurados para as áreas mapeadas, que variam de 30% a 75%, foi elaborado o cronograma de atualização do mapeamento. Este cronograma considerou um espaço de três anos como base para cada novo mapeamento. Recomenda-se ainda, enfaticamente, que a base da metodologia seja mantida, para que os produtos gerados possam ser avaliados comparativamente.

Desta forma, este material também poderá ser utilizado para avaliações multitemporais, extremamente úteis e conclusivas com relação à evolução da degradação e às mudanças no padrão de uso da terra.

### **15.4. Mapeamento do Médio São Francisco**

O Projeto deverá ser executado por uma equipe de sete consultores, especialistas em cartografia digital, sensoriamento remoto, fotointerpretação, geoprocessamento e sistemas de informações geográficas, a serem contratados exclusivamente com esse objetivo.

Além dos consultores serão alocados recursos para material de escritório e software, imagens de satélite, passagens e diárias de campo, aluguel de helicóptero e upgrade de equipamentos.

O prazo para execução será de 12 meses e os custos estão orçados em US\$346,040. Neste projeto, a contrapartida da CODEVASF será equivalente a US\$250,000.

### **15.5. Atualização do Alto São Francisco**

O Projeto de atualização do Alto São Francisco deverá ser executado por uma equipe de seis consultores que, assim como no projeto anterior, deverão ser especialistas em cartografia digital, sensoriamento remoto, fotointerpretação, geoprocessamento e sistemas de informações geográficas.

O prazo para execução será de 10 meses e os custos estão orçados em US\$272,410. Neste projeto, a contrapartida da CODEVASF será equivalente a US\$200,000;

### **15.6. Detalhamento dos Estudos da Dinâmica de Alteração da Conformação do Leito do São Francisco**

O Projeto de detalhamento dos estudos da dinâmica de alteração da conformação do leito do São Francisco incluirá a análise da conformação do leito em períodos de cinco anos a partir de 1972, utilizando-se imagens de satélite que estão disponíveis a partir desta data.

Além deste mapeamento com intervalo de cinco anos, seriam estudadas ainda as datas anteriores e posteriores às duas maiores cheias do período (1979 e 1983), totalizando 11 (onze) datas. Isto permitirá obter-se um perfil detalhado da dinâmica de alteração do rio em todo o período, oferecendo subsídio a todas as ações de revitalização, barramento ou transposição que venham a ser planejadas.

O trabalho deverá ser executado por uma equipe de seis consultores que deverão ser especialistas em cartografia digital, sensoriamento remoto, fotointerpretação, geoprocessamento e sistemas de informações geográficas.

Além destes consultores serão contratados 05 (cinco) especialistas nas áreas de geologia estrutural, pedologia, hidráulica fluvial, climatologia e geomorfologia, com experiência mínima de 05 (cinco) anos em trabalhos na área de interesse do projeto.

Os trabalhos serão dirigidos por um coordenador que trabalhará em dedicação exclusiva por todo o período do projeto, sendo o responsável pela orientação de todos os estudos e elaboração dos relatórios parciais e final. O prazo para execução será de 12 meses e os custos estão orçados em US\$796,060. O detalhamento dos custos é mostrado no Quadro 23. Neste projeto, a contrapartida da CODEVASF será equivalente a US\$350,000.

**Quadro 23. Detalhamento dos estudos da dinâmica de alteração da conformação do leito do São Francisco (valores em US\$).**

<b>DISCRIMINAÇÃO</b>	<b>Parcial</b>	<b>Total</b>
10 – Componente de Pessoal do Subprojeto		
1200 – Consultorias		246,000
1201 – (1 coordenador – 3,000/mês x 12 meses)	36,000	
1202 – (6 consultores – 2,500/mês x 12 meses)	180,000	
1203 – (5 especialistas – 2,500/mês x 3 meses)	37,500	
1600 – Viagens		22,560
1601 – 30 (trinta) Passagens aéreas	15,000	
1602 – 120 (cento e vinte) Diárias	7,560	
<b>1999 TOTAL DO COMPONENTE</b>	<b>276,060</b>	<b>268,560</b>
40 – Material		30,000
4100 – Material de Consumo		
4101 – Material de Escritório	30,000	
<b>4999 TOTAL DO COMPONENTE</b>	<b>30,000</b>	<b>30,000</b>
50 – Diversos		110,000
Manutenção	30,000	
Imagens de satélite	80,000	
Aluguel de Helicóptero	30,000	
<b>5999 TOTAL DO COMPONENTE</b>	<b>140,000</b>	<b>140,000</b>
<b>TOTAL GERAL</b>	<b>446,060</b>	<b>446,060</b>
CONTRAPARTIDA DA CODEVASF	350,000	350,000
<b>TOTAL DO PROJETO</b>	<b>796,060</b>	<b>796,060</b>

### 15.7. Operação de Rede Sedimentométrica

Para que se possa aprofundar os estudos sedimentométricos no rio São Francisco, sugere-se a operação de uma rede sedimentométrica com 28 estações, posicionadas nos locais indicados na Figura 161. Cada estação teria um custo operacional anual de cerca de US\$ 10,700, totalizando US\$ 299,600 para toda a rede.



Figura 161. Localização das estações sedimentométricas.

# Análise Multitemporal da Dinâmica de Alteração da Conformação do Leito do Rio São Francisco - Trecho Médio

## SUMÁRIO

	Pág.
<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>1. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO MÉDIO SÃO FRANCISCO</b>	<b>4</b>
1.1. Localização	4
1.2. Clima	5
1.3. Cobertura Vegetal	7
1.4. Hidrografia	7
1.4.1 Trechos Navegáveis	8
1.4.2 Conformação Geral do Leito	9
1.4.3 Principais Afluentes	10
1.4.4 Barragens de Acumulação	11
1.4.5 Análise de Perfis Transversais	12
1.4.6 Grandes Cheias	14
1.5. Geologia	19
1.5.1 Complexo dos Terrenos Migmatítico-Granulitos, Granitóides e Granito-Greenstone Não-Diferenciados	19
1.5.2 Seqüências Vulcano-Sedimentares do Tipo Greenstone-Belt Diferenciadas	19
1.5.3 Coberturas e Faixas de Dobramentos, do Período Proterozóico	21
1.5.4 As Coberturas Fanerozóicas	23
1.5.5 Comentários Sobre a Relação Entre a Geologia e a Produção de Sedimentos na Bacia	25
1.6. Geomorfologia	27
1.6.1 Geomorfogênese das Regiões do Alto e Médio São Francisco	28
1.6.2 Caracterização Geomorfológica do Alto São Francisco	28
1.6.3 Caracterização Geomorfológica do Médio São Francisco	35
1.6.4 Comentários Sobre os Padrões Geomorfológicos das Regiões do Alto e Médio São Francisco	41
<b>2. CARACTERIZAÇÃO SÓCIO-ECONÔMICA DO MÉDIO SÃO FRANCISCO</b>	<b>44</b>
2.1. Divisão Municipal e Demografia	44
2.2. Transporte	45
2.2.1 Rodoviário	45
2.2.2 Ferroviário	47
2.2.3 Fluvial	47
2.3. Saúde	47
2.4. Saneamento	48
2.5. Educação	48
2.6. Atividades Produtivas	48
2.7. Turismo	48
2.7.1 Núcleo Bom Jesus da Lapa	48
2.7.2 Núcleo Petrolina-Juazeiro	49

	Pág.
<b>3. CONSIDERAÇÕES SOBRE A HIDROSEDIMENTOLOGIA NA BACIA DO SÃO FRANCISCO</b>	<b>50</b>
3.1. Produção e Carreamento de Sedimentos	50
3.2. Declividade Média do Rio São Francisco	52
3.3. Resumo do Diagnóstico Sedimentológico da bacia do São Francisco	52
<b>4. CARTAS TOPOGRÁFICAS, IMAGENS DE SATÉLITE E CARTAS TOPO-HIDROGRÁFICAS</b>	<b>55</b>
4.1. Cartas Topográficas	55
4.2. Imagens de Satélite	56
4.3. Cartas Topo-Hidrográficas	62
<b>5. DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS CARTOGRÁFICOS E PROCESSAMENTO DAS IMAGENS DE SATÉLITE E DAS CARTAS TOPO-HIDROGRÁFICAS</b>	<b>64</b>
5.1. Definição dos Parâmetros Cartográficos	64
5.2. Processamento das Imagens de Satélite	64
5.2.1 Características do Sistema TERRA/ASTER	64
5.2.2 Correção Geométrica e Georreferência	64
5.2.3 Realce Linear de Contraste	65
5.2.4 Composições Coloridas	66
5.3. Processamento das Cartas Topo-Hidrográficas	66
5.3.1 Remontagem do Mapa-Índice	66
5.3.2 Seleção das Cartas	69
5.3.3 Digitalização Eletrônica	69
5.3.4 Georreferenciamento e Mosaicagem das Cartas	70
<b>6. DEFINIÇÃO DOS MÓDULOS DE MAPEAMENTO</b>	<b>75</b>
<b>7. INTERPRETAÇÃO DA CONFORMAÇÃO DO LEITO</b>	<b>81</b>
7.1. Obtenção da Conformação do Leito a Partir das Cartas Topo-Hidrográficas	81
7.2. Obtenção da Conformação do Leito a Partir das Imagens de Satélite	82
<b>8. CRUZAMENTO DA CONFORMAÇÃO DO LEITO PARA AS DUAS DATAS ANALISADAS</b>	<b>83</b>
8.1. Classes Geradas Pelo Cruzamento	83
8.2. Definição das Áreas que Sofreram Erosão e Sedimentação das Margens	85
8.3. Definição das Áreas que Sofreram Erosão e Acreção de Ilhas	87
<b>9. PROCESSAMENTO DOS DADOS OBTIDOS NO CRUZAMENTO</b>	<b>88</b>
9.1. Redução do <i>Bias</i> Associado ao Mapeamento por Módulos	88
9.2. Definição dos Parâmetros Para Interpretação dos Dados	89
<b>10. DEFINIÇÃO DOS TRECHOS</b>	<b>93</b>
<b>11. ANÁLISE DOS DADOS HIDROLÓGICOS</b>	<b>97</b>
11.1. Inferência dos Valores de Vazão Para as Cartas Topo-Hidrográficas	98
11.2. Vazões Para as Datas das Imagens Entre 2000 e 2001	99
11.3. Comparação Entre as Vazões do Rio nos Dois Períodos Analisados	100
<b>12. ETAPA DE CAMPO</b>	<b>103</b>
<b>13. ANÁLISE DA DINÂMICA DE ALTERAÇÃO DA CONFORMAÇÃO DO LEITO</b>	<b>104</b>
13.1. Comportamento das Margens	104
13.1.1 Trecho Rio Jequitáí – Itacarambi	106

	<b>Pág.</b>
13.1.2 Trecho Manga-Carinhanha	116
13.1.3 Trecho Carinhanha – Parateca	120
13.1.4 Trecho Bom Jesus da Lapa-Ibotirama	124
13.1.5 Trecho Morpará-Barra	131
13.1.6 Trecho Barra-Vereda do Sacão	135
13.1.7 Trecho Vereda do Sacão-Sobradinho	142
13.1.8 Análise Integrada das Alterações das Margens	146
13.2. Comportamento das Ilhas	154
13.2.1 Trecho Rio Jequitaí-Itacarambi	155
13.2.2 Trecho Itacarambi-Carinhanha	164
13.2.3 Trecho Parateca-Paratinga	168
13.2.4 Trecho Paratinga-Morpará	171
13.2.5 Trecho Morpará-Xique-Xique	177
13.2.6 Trecho Xique-Xique-Vereda do Sacão	181
13.2.7 Trecho Vereda do Sacão-Sobradinho	186
13.2.8 Análise Integrada das Alterações das Ilhas	190
13.3. Comportamento do Espelho d’Água	198
13.4. Comportamento dos Bancos de Areia	200
13.5. Variações Bruscas no Comportamento dos Parâmetros Analisados Associadas a Alargamento e Estreitamento do Canal	202
13.6. Redução do Gradiente Hidráulico e Efeito Delta	203
<b>14. CONCLUSÕES</b>	<b>207</b>
<b>15. RECOMENDAÇÕES</b>	<b>212</b>
15.1. Alterações na Metodologia	212
15.1.1 Seleção das Datas das Imagens	212
15.1.2 Definição dos Módulos de Mapeamento	212
15.1.3 Diferenciação dos Depósitos Marginais e Mapeamento das Planícies de Inundação	212
15.2. Mapeamento Temático do Médio e Alto São Francisco	213
15.3. Cronograma de Execução e Atualização do Mapeamento Temático	214
15.4. Mapeamento do Médio São Francisco	215
15.5. Atualização do Alto São Francisco	215
15.6. Detalhamento dos Estudos da Dinâmica de Alteração da Conformação do Leito do São Francisco	216
15.7. Operação de Rede Sedimentométrica	218
<b>16. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>221</b>
16.1. Gerais	221
16.2. Específicas	222
<b>17. ATORES</b>	<b>223</b>
17.1. Apoio	223
17.2. Equipe de Consultores	224
<b>GLOSSÁRIO</b>	

## **ANEXOS**

### **1 – RESULTADOS DO CRUZAMENTO**

### **2 – RELATÓRIO DE CAMPO E INVENTÁRIO FOTOGRÁFICO**

### **3 – IMAGENS DE SATÉLITE**

### **4 – RESUMO EXECUTIVO DO DIAGNÓSTICO SEDIMENTOLÓGICO DA BACIA DO SÃO FRANCISCO**

### **5 – MOSAICOS DAS CARTAS TOPO-HIDROGRÁFICAS**

## **LISTA DE FIGURAS**

	<b>Pág.</b>
1. Subdivisão da Bacia do rio São Francisco em regiões fisiográficas.	4
2. Localização da área de estudo.	5
3. Tipos de Clima para a Região do Médio São Francisco.	6
4. Cobertura Vegetal para a região do Médio São Francisco	8
5. Conformação geral do rio São Francisco.	9
6. Foz dos principais afluentes do São Francisco no trecho Médio.	10
7. Perfis transversais do rio São Francisco na cidade de São Francisco, obtidos em 14/09/1973 e 06/08/83.	12
8. Perfis transversais do rio São Francisco na cidade de Bom Jesus da Lapa, obtidos em 19/06/1973 e 01/11/1994.	13
9. Perfis transversais do rio São Francisco na cidade de Morpará, obtidos em 19/04/1959 e 01/11/1984.	14
10. Exemplos de área com cicatrizes de leitos antigos no módulo 45, próximo a Ibotirama.	15
11. Descargas médias diárias para a cheia ocorrida entre 24/11/1948 a 16/04/1949.	16
12. Descargas médias diárias para a cheia ocorrida entre 09/01/1979 a 12/04/1979.	17
13. Descargas médias diárias para a cheia ocorrida entre 03/01/1983 a 10/05/1983.	18
14. Arcabouço geológico simplificado da área do Médio São Francisco.	20
15. Cráton Sanfranciscano. Fonte: Geologia do Brasil/DNPM (1984)	21
16. Esboço do domínio geomorfológico “Remanescentes de Cadeias Dobradas”.	29
17. Serras da Canastra e o divisor de águas entre as Bacias do São Francisco e Paraná.	30
18. Região geomorfológica do Quadrilátero Ferrífero, estado de Minas Gerais.	31
19. Estruturação do relevo na região do Quadrilátero Ferrífero.	32
20. Cabeceiras do rio São Francisco, onde estão localizadas as Depressões Interplanálticas.	34
21. Domínio das Planícies de Acumulação Recentes.	37
22. Domínio dos Planaltos em Estruturas Sedimentares Concordantes.	38
23. Domínio dos Planaltos em Estruturas Sedimentares Dobradas.	40
24. Municípios que recobrem a área de estudo.	44
25. Concentração média dos sedimentos em suspensão nos rios da bacia do São Francisco.	50
26. Relação entre a contribuição para a vazão e para a carga de sedimentos dos principais tributários do rio São Francisco.	51
27. Cartas Topográficas na escala 1:100.000 utilizadas para a cobertura da área.	55
28. Imagens de satélite utilizadas para recobrir a área de estudo.	57
29. Imagem 28/029	59
30. Imagem 26/006	59

	<b>Pág.</b>
31. Imagem 22/025	60
32. Imagem 23/024	60
33. Imagem 22/019	61
34. Imagem 23/019	61
35. Área coberta pelo Levantamento Topo-Hidrográfico do rio São Francisco na escala 1:5.000.	62
36. Mapa-Índice referente às cartas topo-hidrográficas do rio São Francisco.	63
37. Carta topo-hidrográfica georreferenciada com relação as suas coordenadas originais.	63
38. Exemplo do processo de remontagem da sequência de cartas.	67
39. Mapa-Índice remontado.	68
40. Carta Topo-Hidrográfica 174 digitalizada eletronicamente.	69
41. Carta topo-hidrográfica georreferenciada com relação as suas coordenadas originais.	70
42. Carta 174 georreferenciada e cortada para apresentar apenas a área mapeada.	71
43. Mosaico das cartas topo-hidrográficas 875 a 900	71
44. Mosaico das cartas topo-hidrográficas 650 a 675	72
45. Mosaico das cartas topo-hidrográficas 450 a 475	73
46. Mosaico das cartas topo-hidrográficas 300 a 325	74
47. Mosaico das cartas topo-hidrográficas 200 a 225	74
48. Distribuição dos módulos de mapeamento sobre a área de estudo.	75
49. Mapa digital e imagem de satélite para o módulo 1 onde se vê a foz do Rio Jequitaiá.	76
50. Mapa digital e imagem de satélite para o módulo 5 onde ocorre a foz do Rio Paracatu.	77
51. Mapa digital e imagem de satélite para o módulo 17 onde se vê a cidade de Januária no canto esquerdo inferior.	77
52. Mapa digital e imagem de satélite para o módulo 23 onde onde se vê a cidade de Manga.	78
53. Mapa digital e imagem de satélite para o módulo 37 onde ocorre a foz do Rio Corrente.	78
54. Mapa digital e imagem de satélite para o módulo 49.	79
55. Mapa digital e imagem de satélite para o módulo 61.	79
56. Mapa digital e imagem de satélite para o módulo 68.	80
57. Definição das margens, do leito e do continente para os mapas obtidos a partir das cartas topo-hidrográficas (módulo 63).	81
58. Definição das margens, do leito e do continente para a data atual (módulo 63).	82
59. Obtenção dos mapas que ressaltam a manutenção, erosão e sedimentação das margens.	86
60. Processo de obtenção dos mapas que ressaltam o comportamento das ilhas indicando onde ocorreu acreção, manutenção, erosão com agregação ao leito e erosão com agregação ao continente.	87
61. Áreas dos módulos nas duas datas analisadas.	88
62. Áreas dos módulos nas duas datas analisadas após o processamento para redução do <i>bias</i> .	89
63. Comportamento dos parâmetros alteração total e balanço para as alterações das margens.	90
64. Gráficos que apresentam as composições originais e atuais de áreas que sofreram mudanças na conformação das ilhas e das margens.	91

	Pág.
65. Trechos definidos a partir do comportamento dos parâmetros balanço e alteração total para análise do comportamento das margens.	94
66. Trechos definidos a partir do comportamento dos parâmetros balanço e alteração total para análise do comportamento das ilhas.	96
67. Exemplo da interferência da vazão no comportamento das ilhas.	97
68. Vazões antigas inferidas com o patamar mínimo e máximo de variação indicados.	98
69. Vazões medidas e calculadas para o rio nas datas das imagens utilizadas para se obter a conformação atual do leito.	100
70. Comparação entre as vazões médias inferidas para os meses de junho a setembro de 1946 e 1947 com as vazões medidas e calculadas para as datas de aquisição das imagens.	100
71. Vazões Naturais Médias Anuais para o período de 1931 a 1999 em Sobradinho.	101
72. Vazões Naturais Médias Anuais Acumuladas para o período de 1931 a 1999 em Sobradinho.	102
73. Trechos do sobrevôo realizado durante a etapa de campo.	103
74. Comparação entre a composição original e atual do leito, considerando-se as porcentagens de ilhas, bancos de areia e espelho d'água.	104
75. Comportamento da erosão e sedimentação das margens através dos parâmetros alteração total e balanço. O comprimento das colunas é proporcional à área em km <sup>2</sup> de cada item.	105
76. Análise da sedimentação e erosão de leito no trecho Rio Jequitaí-Itacarambi.	106
77. Área com baixo grau de alteração e predominância da sedimentação na altura do módulo 1.	107
78. Grau de alteração mediano na altura do módulo 5, onde se observa a sedimentação da porção interna da curva com erosão da porção externa correspondente.	109
79. Área com relevante percentual de fixação de ilhas ao continente, implicando em forte predominância da sedimentação sobre a erosão e grau de alteração elevado no módulo 13.	111
80. Área com elevado grau de alteração entre os módulos 17 e 18, chegando a ocorrer a mudança da posição original do leito.	112
81. Área do módulo 20 com o maior grau de alteração e a maior predominância da sedimentação sobre a erosão em todo o trecho, mostrando ainda um forte estreitamento de canal.	114
82. Composição original e atual das áreas que sofreram, respectivamente, sedimentação e erosão no trecho Rio Jequitaí – Itacarambi.	115
83. Análise da sedimentação e erosão no Trecho Manga-Carinhanha	116
84. Área com baixo grau de alteração e predominância da erosão sobre a sedimentação no módulo 22. Observam-se trechos com estreitamento e alargamento de canal.	117
85. Área com elevado grau de alteração e relevante fixação de bancos de areia e ilhas ao continente, na altura do módulo 26.	119
86. Composição original e atual das áreas que sofreram, respectivamente, sedimentação e erosão no trecho Manga-Carinhanha.	120
87. Análise da sedimentação e erosão no Trecho Carinhanha-Parateca	121
88. Área com mais alto grau de alteração e maior predominância da sedimentação no trecho Carinhanha-Parateca, na altura do módulo 31.	122
89. Equilíbrio entre erosão e sedimentação com estreitamento e alargamento de canal no módulo 34.	123

	Pág.
90. Composição original e atual das áreas que sofreram, respectivamente, sedimentação e erosão no trecho Carinhanha-Parateca.	124
91. Análise da sedimentação e erosão no Trecho Bom Jesus da Lapa-Ibotirama.	125
92. Área do módulo 40 com elevado grau de alteração e com leve predominância da sedimentação.	126
93. Área do módulo 45 com estreitamento e alargamento de canal alternados, com leve predominância da sedimentação e grau de alteração elevado.	128
94. Área do módulo 48 onde houve predominância da erosão sobre a sedimentação associada a um elevado grau de alteração.	129
95. Composição original e atual das áreas que sofreram, respectivamente, sedimentação e erosão no trecho Bom Jesus da Lapa-Ibotirama.	130
96. Análise da sedimentação e erosão no Trecho Morpará-Barra	131
97. Área do módulo 50 com grau de alteração elevado, onde houve alargamento de canal e predominância da erosão sobre a sedimentação.	132
98. Área do módulo 54 onde ocorre elevado grau de alteração com predominância da sedimentação sobre a erosão, com estreitamento de canal.	134
99. Composição original e atual das áreas que sofreram, respectivamente, sedimentação e erosão no trecho Morpará-Barra.	135
100. Análise da sedimentação e erosão no Trecho Barra-Vereda do Sacão.	136
101. Área do módulo 57 onde se vê um baixo grau de alteração com leve predominância da erosão.	137
102. Área do módulo 61 onde ocorreu o maior grau de alteração de toda a área, com ampla predominância da sedimentação.	138
103. Área do módulo 65 onde ocorre a predominância da erosão sobre a sedimentação e um extenso alargamento de canal.	140
104. Composição original e atual das áreas que sofreram, respectivamente, sedimentação e erosão no trecho Barra-Vereda do Sacão.	142
105. Análise da sedimentação e erosão no Trecho Vereda do Sacão-Sobradinho.	142
106. Área do módulo 69 onde houve predomínio da sedimentação associado a um grau de alteração elevado.	143
107. Área do módulo 73 onde a influência de Sobradinho causou o aumento da cota com agregação de área ao leito pelo alargamento do canal.	145
108. Composição original e atual das áreas que sofreram, respectivamente, sedimentação e erosão no trecho Vereda do Sacão-Sobradinho.	146
109. Comportamento dos itens analisados no estudo das margens.	147
110. Composição original das áreas que sofreram sedimentação e se fixaram ao continente.	147
111. Comparação entre o balanço sedimentação-erosão das margens e a vazão do rio em cada módulo.	148
112. Comparação entre a composição original das áreas agregadas ao continente e a alteração ocorrida em cada trecho.	150
113. Variações da conformação do leito, das vertentes e da planície de inundação.	152
114. Comportamento da erosão e acreção das margens, utilizando os parâmetros alteração total e balanço. O comprimento das colunas é proporcional à área em km <sup>2</sup> de cada item.	155
115. Análise da erosão e acreção das ilhas no Trecho Rio Jequitaí-Itacarambi.	156
116. Área do módulo 5 onde ocorreu apenas o surgimento de uma pequena ilha na porção central do módulo.	157

	<b>Pág.</b>
117.Área do módulo 9 onde houve intensa alteração na conformação original das ilhas.	159
118.Área do módulo 15 onde houve forte predominância da acreção sobre a erosão.	161
119.Área do módulo 20 onde houve a modificação total da conformação das ilhas com expressiva erosão com perda para o leito e acreção moderada.	162
120.Formação de novo canal na área originalmente com predominância das ilhas no módulo 20.	163
121.Composição original e atual das áreas que sofreram, respectivamente, acreção e erosão de ilhas no trecho Rio Jequitaí-Itacarambi.Trecho Itacarambi-Parateca	164
122.Análise da erosão e acreção das ilhas no Trecho Itacarambi-Parateca.	164
123.Área do módulo 24 onde se vê um crescimento expressivo das ilhas.	165
124.Área do módulo 26 com predomínio da acreção e equilíbrio entre erosão com perda para o leito e para o continente.	167
125.Composição original e atual das áreas que sofreram, respectivamente, acreção e erosão de ilhas no trecho Rio Itacarambi-Parateca.	168
126.Análise da erosão e acreção das ilhas no trecho Parateca-Paratinga.	168
127.Área do módulo 34 com baixo grau de alteração e leve predominância da acreção.	170
128.Área do módulo 41 com grau de alteração mediano e leve predominância da acreção sobre a erosão.	172
129.Composição original e atual das áreas que sofreram, respectivamente, acreção e erosão de ilhas no trecho Parateca-Paratinga.	173
130.Análise da acreção e erosão no trecho Paratinga-Morpará.	173
131.Área do módulo 48 onde ocorreu ampla predominância da acreção, com elevado grau de alteração total.	174
132.Área do módulo 50 onde houve grau de alteração mediano e leve predominância da acreção.	176
133.Composição original e atual das áreas que sofreram, respectivamente, acreção e erosão de ilhas no trecho Paratinga-Morpará.	177
134.Comportamento da erosão e da acreção no trecho Morpará-Xique-Xique.	177
135.Área do módulo 54 onde houve predominância da acreção das ilhas e um grau de alteração mediano.	178
136.Área do módulo 58 onde ocorreu intensa acreção das ilhas com grau de alteração elevado.	180
137.Composição original e atual das áreas que sofreram, respectivamente, acreção e erosão de ilhas no trecho Morpará-Xique-Xique.	181
138.Comportamento da erosão e da acreção no trecho Xique-Xique-Vereda do Sacão.	182
139.Área do módulo 61 onde ocorreu o maior grau de alteração da conformação das ilhas em toda a área estudada.	183
140.Área do módulo 64 onde ocorreu predominância da acreção de ilhas.	184
141.Composição original e atual das áreas que sofreram, respectivamente, acreção e erosão de ilhas no trecho Xique-Xique-Vereda do Sacão.	185
142.Comportamento da acreção e da erosão no trecho Vereda do Sacão-Sobradinho.	186
143.Área do módulo 69 onde ocorreu um elevado grau de alteração associado ao equilíbrio entre acreção e erosão.	187
144.Área do módulo 73 onde a elevação da cota causada pelo reservatório de Sobradinho interferiu nos resultados apresentados.	189
145.Composição original e atual das áreas que sofreram, respectivamente, acreção e erosão de ilhas no trecho Vereda do Sacão-Sobradinho.	190

	<b>Pág.</b>
146.Comportamento dos itens analisados no estudo do comportamento das ilhas.	190
147.Composição original das áreas que se tornaram ilhas.	191
148.Comparação entre o balanço acreção-erosão das ilhas e a vazão do rio em cada módulo.	192
149.Análise da composição atual e original das áreas que sofreram, respectivamente, erosão e acreção de ilhas para todos os trechos estudados.	193
150.Variações da conformação das ilhas, das vertentes e da planície de inundação	197
151.Variação percentual da área do leito e da contribuição do espelho d'água para toda a área analisada.	199
152.Comportamento dos bancos de areia.	200
153.Comportamento das áreas que deixaram de ser bancos de areia.	201
154.Comparação entre o balanço acréscimo-redução de bancos de areia e a vazão do rio em cada módulo	202
155.Variações bruscas no comportamento dos parâmetros analisados associadas a alargamentos e/ou estreitamento de canal.	203
156.Associação de fatores que indicam a ocorrência do processo de assoreamento característico das regiões de delta a partir de jusante de Xique-Xique.	204
157.Principais características da conformação do leito na região onde está ocorrendo o efeito delta.	205
158.Interação dos fatores que causaram as mudanças observadas na conformação do leito.	210
159.Situação do Mapeamento Temático de Uso da Terra na Bacia do São Francisco.	213
160.Cronograma para o mapeamento temático de uso da terra na Bacia do São Francisco.	214
161.Localização das estações sedimentométricas.	219

### **LISTA DE QUADROS**

	<b>Pág.</b>
1. Valores climáticos das regiões da Bacia do São Francisco. Fonte: DNAEE/1983	7
2. Estações utilizada para análise dos dados hidrológicos	15
3. Representação Geomorfológica do Alto São Francisco.	29
4. Representação Geomorfológica do Médio São Francisco.	36
5. Situação demográfica dos municípios do Estado da Bahia que fazem parte da área de estudo.	45
6. Situação demográfica dos municípios do Estado de Minas Gerais que fazem parte da área de estudo	46
7. Resumo da situação demográfica para a área estudada.	47
8. Declividade média do rio São Francisco	52
9. Relação das cartas topográficas utilizadas.	56
10. Código, data, módulos abrangidos e coordenadas limítrofes das imagens utilizadas.	58
11. Parâmetros técnicos do Sensor ASTER.	65
12. Classes geradas pelo cruzamento das informações referentes às duas datas e interpretação do significado da nova classe em função do parâmetro analisado.	83
13. Significado dos Grupos de Classe na análise do comportamento das margens.	84
14. Significado dos Grupos de Classe na análise do comportamento das ilhas.	85
15. Trechos definidos para a análise do comportamento das margens.	93
16. Trechos definidos para a análise do comportamento das ilhas.	95

	<b>Pág.</b>
17. Cálculo da vazão média inferida usando as vazões mínima, máxima e média para os meses de junho a setembro dos anos de 1946 e 1947.	98
18. Vazões calculadas para cada módulo a partir da vazão medida na estação na data da imagem utilizada.	99
19. Alterações observadas, caracterização e referências.	207
20. Comportamento das condicionantes temporais e atemporais, área de influência e efeitos observados.	209
21. Custos previstos para o Projeto de Mapeamento do Médio São Francisco.	215
22. Custos previstos para o Projeto de Atualização do Alto São Francisco.	216
23. Detalhamento dos estudos da dinâmica de alteração da conformação do leito do São Francisco.	217

### **LISTA DE FOTOS**

	<b>Pág.</b>
1. Voçoroca e ravinamento na Região da Depressão Interplanáltica, nas proximidades da cidade de São Roque de Minas, estado de Minas Gerais.	35
2. Trecho das Planícies Fluviais, no Médio São Francisco.	37
3. Área da sub-bacia do rio Urucuia.	39
4. Área da sub-bacia do rio Carinhanha.	39
5. Foz do Rio Jequitaí no São Francisco.	108
6. Margens do São Francisco com vertentes encaixadas.	108
7. Leito encaixado na altura do módulo 5.	110
8. Bancos de areia na porção central do módulo 13.	110
9. Bancos de areia na porção final do módulo 17.	113
10. Porção central do módulo 20 onde se vê parte da área que foi sedimentada.	115
11. Trecho na porção central do módulo 22, onde a acreção da ilha causou o alargamento do canal.	118
12. Área fixada ao continente no extremo jusante da ilha existente na porção central do módulo 26.	118
13. Área erodida na margem esquerda e sedimentada na margem direita na porção inicial do módulo 31.	121
14. Área onde houve erosão das margens próximo a uma ilha na porção inicial do módulo 40.	127
15. Porção norte do módulo 45, a jusante de Ibotirama, onde se vê cicatrizes de leitos antigos e áreas que sofreram erosão das margens devido à acreção de ilhas.	127
16. Área da porção central do módulo 48 onde vêm-se novamente cicatrizes de leitos antigos e acreção de ilha causando erosão de margem.	130
17. Porção final do módulo 50 onde se vêem bancos de areia e e ilhas.	133
18. Antigo banco de areia que fixou-se ao continente. O traçado antigo do leito deixou uma 'cicatriz' marcada por uma lagoa.	135
19. Porção central do módulo 57 onde houve sedimentação de uma extensa causando um estreitamento de canal.	136
20. Área da porção inicial do módulo 61 onde uma extensa ilha foi agregada ao continente permanecendo a cicatriz do leito antigo.	139
21. Área agregada ao leito na porção central do módulo 65.	141

	<b>Pág.</b>
22. Canal de irrigação na porção final do módulo 65.	141
23. Foz do Rio Verde na porção inicial do módulo 69.	144
24. Porção final do módulo 73, com a área inundada pelo reservatório de Sobradinho.	146
25. Foz do rio Paracatu no São Francisco onde se observa a diferença na coloração da água, associada a uma maior carga de sedimentos no São Francisco, na data em que a imagem foi obtida (10/08/2002).	158
26. Bancos de areia e ilha formada a jusante da foz do rio Paracatu em função dos sedimentos trazidos por este rio e depositados no São Francisco.	158
27. Ilha localizada na porção central do módulo 9 que se formou após a primeira data analisada.	160
28. Ilha na porção central do módulo 13, onde houve forte acreção.	160
29. Ilha na porção inicial do módulo 24.	166
30. Acreção de ilha na porção central do módulo 26.	166
31. Vista da ilha que ocorre na porção central do módulo 34, que sofreu acreção no período analisado.	169
32. Porção inicial do módulo 41 onde se vê a ilha que sofreu erosão a montante.	171
33. Conjunto de ilhas formado após a primeira data analisada.	175
34. Ilha com vegetação de gramínea e banco de areia localizados na porção central do módulo 50.	175
35. Ilhas e bancos de areia existentes na porção final do módulo 54.	179
36. Conjunto de ilhas existentes na porção final do módulo 58, formadas após a primeira data analisada.	181
37. Ilhas formadas após a primeira data analisada e ilha abandonada no módulo 61.	182
38. Ilhas que surgiram na porção final do módulo 64.	185
39. Porção final do módulo 69 onde se vê a ilha que foi agregada ao continente e parte de uma ilha que sofreu acreção.	188
40. Ilha na porção central do módulo 73 que sofreu acreção apesar da elevação de cota associada ao reservatório de Sobradinho.	188

## **LISTA DE SIGLAS**

**ANA** – Agência Nacional de Águas

**ASTER** – Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (Radiômetro Espacial Avançado de Reflexão e Emissão Termal)

**CODEVASF** – Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e Parnaíba

**CHESF** – Companhia Hidrelétrica do São Francisco

**GEF** – Global Environment Facility (Fundo para o Meio-Ambiente Mundial)

**MMA** – Ministério do Meio-Ambiente

**NASA** – National Aeronautics & Space Administration (Agência Nacional de Administração Aeronáutica e Espacial)

**OEA** – Organização dos Estados Americanos

**PLANVASF** – Plano Diretor para o Desenvolvimento do Vale do São Francisco

**PNUMA** – Programa das Nações Unidas para o Meio-Ambiente

**SUDENE** – Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste