

## **SENSORIAMENTO REMOTO E GEOPROCESSAMENTO COMO FERRAMENTAS PARA O ESTUDO DA SEDIMENTAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO.**

Iêdo Bezerra Sá<sup>1</sup>, Paulo Pereira da Silva Filho<sup>2</sup>, Davi Ferreira da Silva<sup>3</sup>

### **Resumo**

O processo de sedimentação no curso do Rio São Francisco está sendo estudado na sua porção média e sub média, que compreende o trecho entre Três Marias em Minas Gerais até a localidade de Paulo Afonso no Estado da Bahia. O objetivo da presente pesquisa é verificar os possíveis agentes causais do referido processo e as variações temporais e espaciais da sedimentação. Até o presente momento verificou-se que as variações temporais e espaciais da sedimentação estão intimamente ligadas às alterações da cobertura vegetal que margeia o curso principal e em menor medida os afluentes, tendo o desmatamento e retirada da mata ciliar como os principais vetores para desencadear o processo de desbarrancamento e o conseqüente assoreamento da bacia hidráulica. A atuação conjunta desses fatores interagindo com as variáveis climáticas, de relevo, da vegetação circundante, dos tipos de solos e as ações antrópicas promove em maior ou menor grau variações na taxa de sedimentação. Diante destas constatações objetivou-se detectar a origem e os principais agentes causais do elevado carreamento dos sedimentos superficiais ao leito do rio e conseqüentemente das obras de engenharia ali instaladas. Para tanto, foram utilizadas conjuntamente, técnicas de sensoriamento remoto, utilizando imagens de satélite de última geração, sistema de informação geográfica para análise, interpretação e apresentação gráfica dos resultados e verificação em campo, com apoio de equipamentos modernos de posicionamento no terreno (GPS).

### **Introdução**

Até pouco tempo se acreditava que o problema dos sedimentos se reduzia ao simples fato do mau aspecto visual das águas de um determinado rio, lago ou represa. À medida que as investigações foram se aprofundando, se demonstrou que as águas carregadas de sedimentos transportavam fertilizantes e inseticidas (contaminação química), argilas e partículas de matéria

---

<sup>1</sup> D.Sc. Sensoriamento Remoto/Geoprocessamento, Pesquisador Embrapa Semi-Árido. [iedo@cpatsa.embrapa.br](mailto:iedo@cpatsa.embrapa.br)

<sup>2</sup> Graduado em Geografia, Embrapa Semi-Árido.

<sup>3</sup> Técnico em Geoprocessamento, Embrapa Semi-Árido

orgânica, cuja elevada capacidade de absorção lhe permite reter bactérias de qualquer tipo, nocivas a saúde. Por outro lado, os sedimentos, fisicamente, produzem o assoreamento de obras de infra-estruturas, provocam inundações na parte alta e desestabilizam os cursos d'água.

Muitas atividades vêm provocando impactos ambientais negativos nas águas superficiais (rios, lagos, estuários, mares ou oceanos). Os efeitos destas atividades podem estar representados por modificações na quantidade e/ou qualidade das águas, produzindo alterações no ecossistema aquático. Dentre os exemplos de projetos que ocasionam impactos relacionados com as águas superficiais pode-se destacar: projetos de exploração de minas a céu aberto, que ocasionam mudanças na hidrologia superficial e contaminação difusa; construção de barragens para abastecimento de água ou produção de energia elétrica; e projetos de desmatamentos e desenvolvimento agrícola que dão como resultados uma contaminação difusa por excesso de nutrientes e pesticidas que são carregados para o leito dos rios ou lagos, assim como o forte assoreamento que é produzido por estas práticas quando não se leva em conta o manejo adequado para cada uma destas atividades.

Outro fator muito importante é que os impactos causados pelos projetos em um lugar podem manifestar-se em distintos pontos da bacia hidrográfica. Esta característica se reveste de maior importância quando se verifica que, na maioria dos casos, os efeitos são experimentados águas à jusante.

Diante destas constatações objetivou-se detectar a origem e os principais agentes causais do elevado carregamento dos sedimentos superficiais ao leito do rio e conseqüentemente das obras de engenharia ali instaladas. Para tanto, foram utilizadas conjuntamente, técnicas de sensoriamento remoto, utilizando imagens de satélite de última geração, sistema de informação geográfica para análise, interpretação e apresentação gráfica dos resultados e verificação em campo, com apoio de equipamentos modernos de posicionamento no terreno (GPS).

### **Contextualização do problema**

A região do Vale do São Francisco tem sido alvo da crescente demanda de atividades agrícolas e agroindustriais que degradam o meio ambiente sem atender aos critérios da legislação de proteção ambiental, que praticam desmatamentos demasiados nas margens do rio, retirando a mata ciliar deixando os solos totalmente expostos, o que acarreta numa série de problemas ambientais. Deste modo é necessário um esforço integrado entre os diferentes seguimentos organizacionais para encontrar um modelo de desenvolvimento que possa promover a sustentabilidade dessas atividades, como também melhorar a qualidade de vida e o ambiente.

A Bacia do Rio São Francisco segundo Rocha (1983), é dividida em quatro grandes áreas: **Alto São Francisco** que compreende a parte superior do rio e, as sub-bacias dos rios: das Velhas, Abaeté, Pará, Jequitaiá, e Indaiá, que tem seu limite à jusante à altura da cidade de Pirapora. **Médio São Francisco**, que compreende as sub-bacias do rio Paracatu, Urucuia, Caririnha, Corrente, Grande, e Paramirim, situadas nos estrados de Minas Gerais e Bahia, tendo seus limites à jusante no lago de Sobradinho, à altura de Remanso. **Sub Médio São Francisco** correspondendo entre outras as sub-bacias dos rios Pageú e Moxotó, situado no estado de Pernambuco e os dois rios Torão e Vargem, seu limite à jusante localiza-se pouco abaixo da cidade de Paulo Afonso. **Baixo São Francisco** compreendendo as sub-bacias dos rios Ipanema e Capivara até a Foz do Rio no Oceano Atlântico.

Altas concentrações de sólidos em suspensão servem como carreadores de substâncias tóxicas adsorvidas. Agrotóxicos, fertilizantes e metais são facilmente adsorvidos nas partículas de solo e na maioria das vezes não são detectados em pontos de coleta próximos ao local de sua aplicação, podendo ser encontrados em locais muito distantes, em sedimentos de lagos e rios.

Processos de assoreamento e bloqueio total de rios ou lagos devido ao alto conteúdo de material em suspensão são responsáveis pelo desequilíbrio entre espécies e desaparecimento completo de algumas formas de vida do ambiente aquático. As atividades fotossintéticas das plantas aquáticas, podem por sua vez, serem inibidas pela interferência da passagem de luz.

Segundo Anderson (1975), a proporção de fontes de sedimentação no curso dos rios é apresentada na **Tabela 1**.

**TABELA 1. PROPORCAO DO SEDIMENTO TOTAL SEGUNDO AS FONTES DO MATERIAL.**

<b>FONTES</b>	<b>PROPORÇÃO</b>
<b>Deslizamento</b>	<b>25 %</b>
<b>Desprendimento de margens</b>	<b>55 %</b>
<b>Erosão</b>	<b>20%</b>

A ferramenta do sensoriamento remoto associado a uma campanha de trabalhos de campo e apoiada por um tratamento laboratorial permite inferir sobre vários dos processos assinalados, uma vez que os comportamentos espectrais dos cursos d'água sofrem alterações passíveis de detecção.

A superfície aquática absorve ou transmite a maior parte da radiação eletromagnética visível que recebe, sendo maior sua absorvidade quanto maior seja o comprimento da onda da radiação

eletromagnética (Chuvieco, 1996). A curva espectral, portanto, é similar a do solo, ainda que em sentido contrário. A maior reflectância da água clara se produz na região do azul, reduzindo-se paulatinamente na direção do infravermelho próximo e médio, onde já é praticamente nula. Por essa razão, a fronteira terra-água é muito nítida nesta banda espectral.

A variabilidade da água é mais facilmente detectada em comprimentos de onda mais curtos (azul e verde), e se relaciona com sua profundidade, conteúdo de materiais em suspensão (clorofila, argilas, e nutrientes), e rugosidade da superfície. A turbidez da água, relacionada com seu conteúdo de sedimentos, implica aumento da reflectância em todas as bandas do espectro visível, para distintos diâmetros de partículas (Bhargara e Marian, 1991).

A profundidade da água influi diretamente no aporte de reflectância derivada dos materiais do fundo. Em águas pouco profundas a reflectância aumenta, já que se mescla no fluxo recebido a reflectância do fundo. Em conseqüência a absorvidade será tanto maior quanto mais profunda seja a camada de água. A partir desta relação pode-se abordar alguns estudos de batimetria em zonas costeiras. Para imagens Landsat-TM se estima que a profundidade da água máxima que se pode determinar alcança 6,4 m na banda azul, 3 na verde e 2,1 m na vermelha (Ji et al., 1992).

O restante dos materiais em suspensão contribui também para aumentar a refletividade, além de apresentar uma maior turbidez. Por último, a rugosidade da superfície favorece a reflexão difusa, e em conseqüência uma maior refletividade. No caso de águas muito tranquilas, a superfície se comporta de modo especular, com valores de reflectância muito variados em função da geometria de visada do sistema sensor. No caso de medidas tomadas com sensores orbitais, os valores tendem a ser extremamente baixos.

O presente estudo teve como período de observação os últimos dez anos. A escolha deste período deve-se ao fato de que se verificou uma alteração no comportamento do reservatório de Sobradinho e de suas águas à jusante, com relação à dispersão de sedimentos em suspensão e sua concentração na subsuperfície da água. Ou seja, a cada ano vem se observando um maior tempo com águas turvas ou barrentas.

Como material básico para o desenvolvimento deste estudo, foram utilizados os dados orbitais do Sistema da série Landsat5-7, por suas características multiespectrais, de repetitividade e visão sinóptica. Partiu-se do princípio que os diferentes comportamentos espectrais observados nos cursos d'água, através das imagens orbitais, indicassem concentrações de sedimentos e por conseguinte a perfeita localização de suas principais fontes.

Para tanto foi executada uma série de procedimentos de análise, utilizando-se programas de processamento de imagens, que dentre os quais podemos assinalar: o realce, a filtragem, a classificação e aplicação de índices morfológicos, no sentido de caracterizar o meio e finalmente

precisar os principais focos causadores do carreamento de sedimentos para o leito do rio. Esta metodologia está embasada nos trabalhos elaborados por Sausen (1981), Herz & Tanaka (1978) e Scherz & Van Domelen (1975) dentre outros.

As coletas de informações no campo foram realizadas, sempre que possível simultaneamente às passagens do satélite. Isto permite a obtenção de informações sobre a área que poderia ser correlacionada com as observações nas imagens.

## **Resultados**

Com base nos levantamentos feitos em campo sobretudo na área do **médio São Francisco**, não foi detectada a presença de sedimento em suspensão nas desembocaduras dos principais afluentes do Rio São Francisco ao contrário do que se pensava. Os rios Paracatu, Urucuia, Caririnha, Correntes, Grande, e Paramirim não despejam sedimentos que possam contribuir significativamente para justificar a coloração amarelada de sedimento em suspensão no Rio São Francisco.

O Rio São Francisco, ao longo dos seus 2700 km, tem uma declividade de 600 m. da nascente a Foz. O perfil longitudinal em seu curso médio, entre as cidades de Pirapora e Sobradinho (**Figura 1**) apresenta uma declividade média de, 74 mm/km. Este gradiente de inclinação muito baixo em relação à declividade total, indica uma baixa capacidade erosiva do rio e conseqüentemente de transportar os materiais. No período das chuvas neste trecho do rio, que vai normalmente de novembro a março, o rio recebe uma grande quantidade de água de seus afluentes, aumentando significativamente sua energia causando assim o desbarrancamento das margens, ou seja, causando erosão pluvial. Todos os processos que desencadeiam, de uma forma ou de outra, o carreamento de sedimentos no curso dos rios, inferem decisivamente na quantidade e qualidade das águas. Com a execução do trabalho de investigação já foram identificados alguns focos que originam a sedimentação no rio São Francisco, tanto do seu leito principal como dos principais alimentadores do mesmo. A perfeita identificação e localização das fontes de sedimentos possibilitam a tomada de ações de reparação do meio ambiente de maneira mais eficaz, uma vez que o problema pode ser analisado numa ótica diferenciada para cada um dos locais identificados.

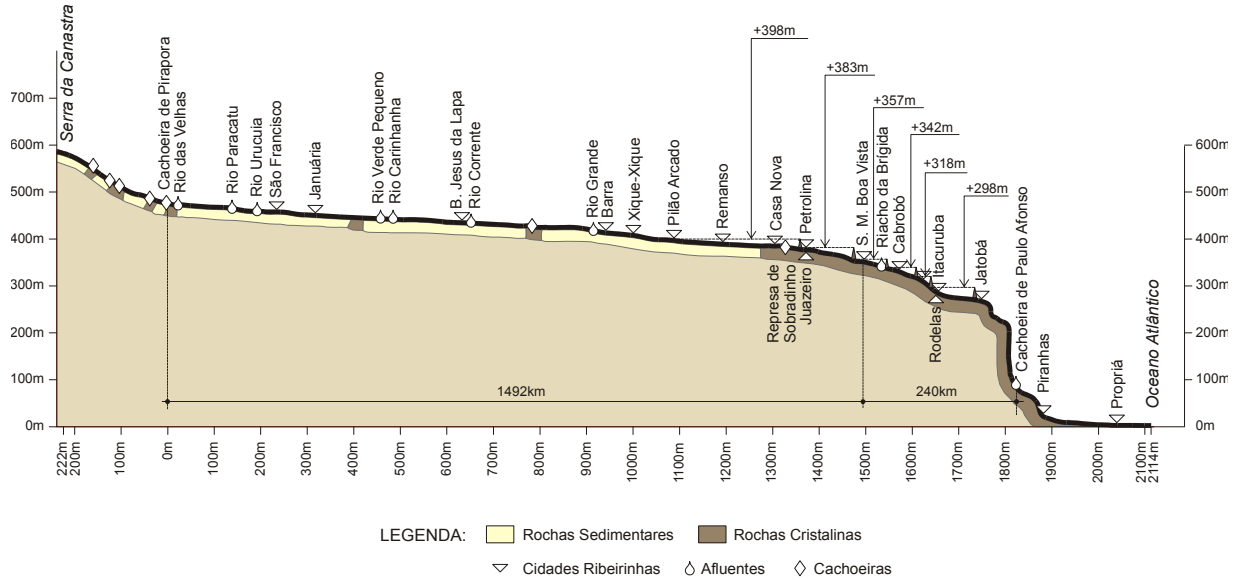


Figura 1. Perfil longitudinal do Rio São Francisco  
Fonte: Adaptada de Rocha (1983).

A grande variabilidade do ambiente físico, em termos de solos (**Figura 2**), topografia e cobertura vegetal, sobretudo da mata ciliar, associada às atividades antrópicas nas margens e áreas naturais de inundação, evidencia a necessidade de uma gama de soluções diferenciadas para cada um destes ambientes.

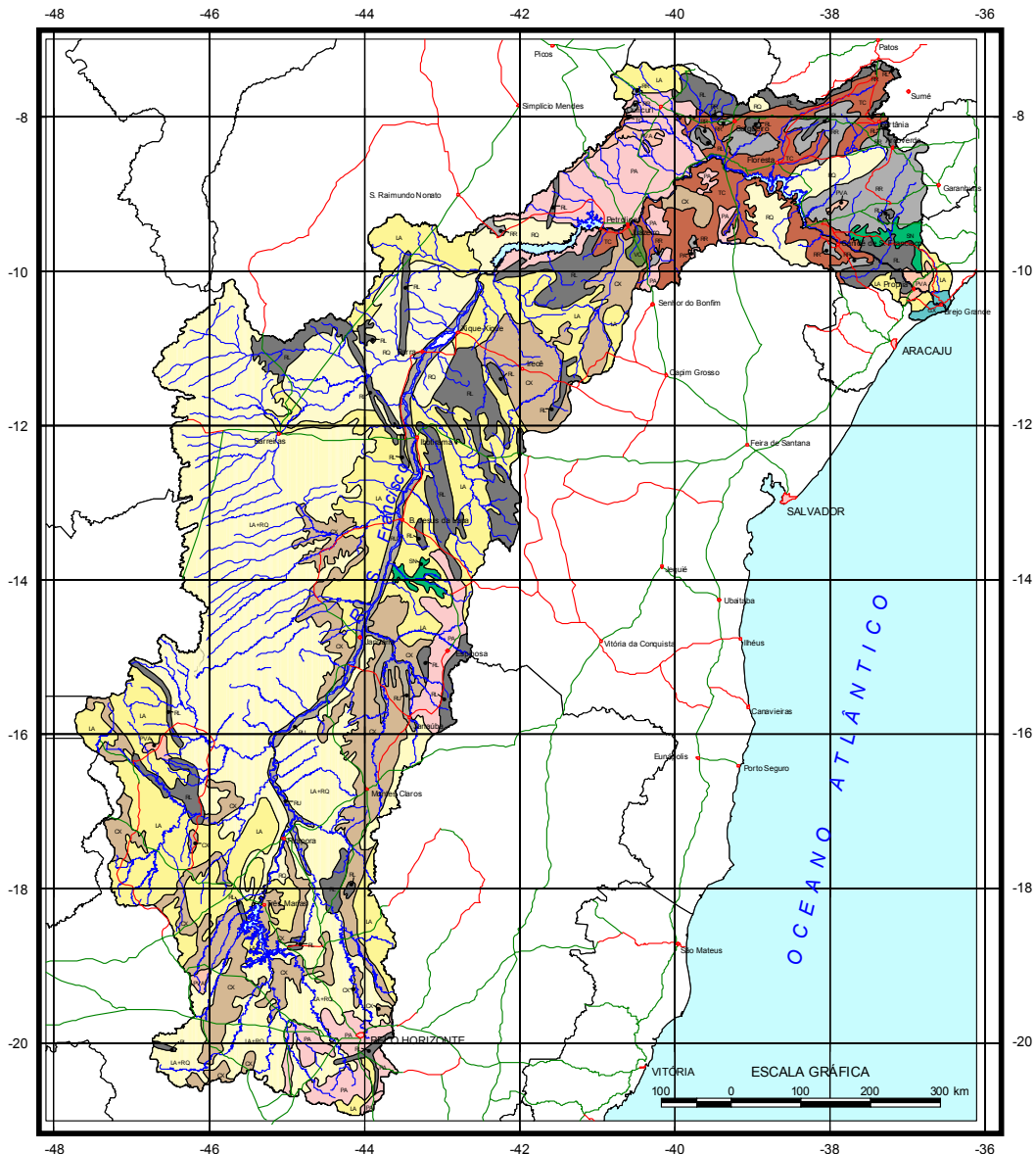
A **Figura 3**, apresentada a seguir, mostra uma visão geral da bacia hidrográfica do Rio São Francisco, contemplando os principais acessos rodoviários, linhas de drenagem, principais cidades e os locais visitados no trabalho de campo.

## MAPA DE SOLOS DA BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO

### DETECÇÃO DAS FONTES DOS SEDIMENTOS DO RIO SÃO FRANCISCO



2003



FONTE: Base Municipal do IBGE/1998  
Limite da Bacia do São Francisco - CODEVASF/1996  
Mapa Rodoviário - DNIT/2002  
Mapa Exploratório de Solos - EMBRAPA/1983

#### Convenções

- Limite da Bacia do Rio São Francisco
- Drenagem
- Rodovia Estadual
- Rodovia Federal
- Sede Municipal
- Pontos Visitados

#### Legenda

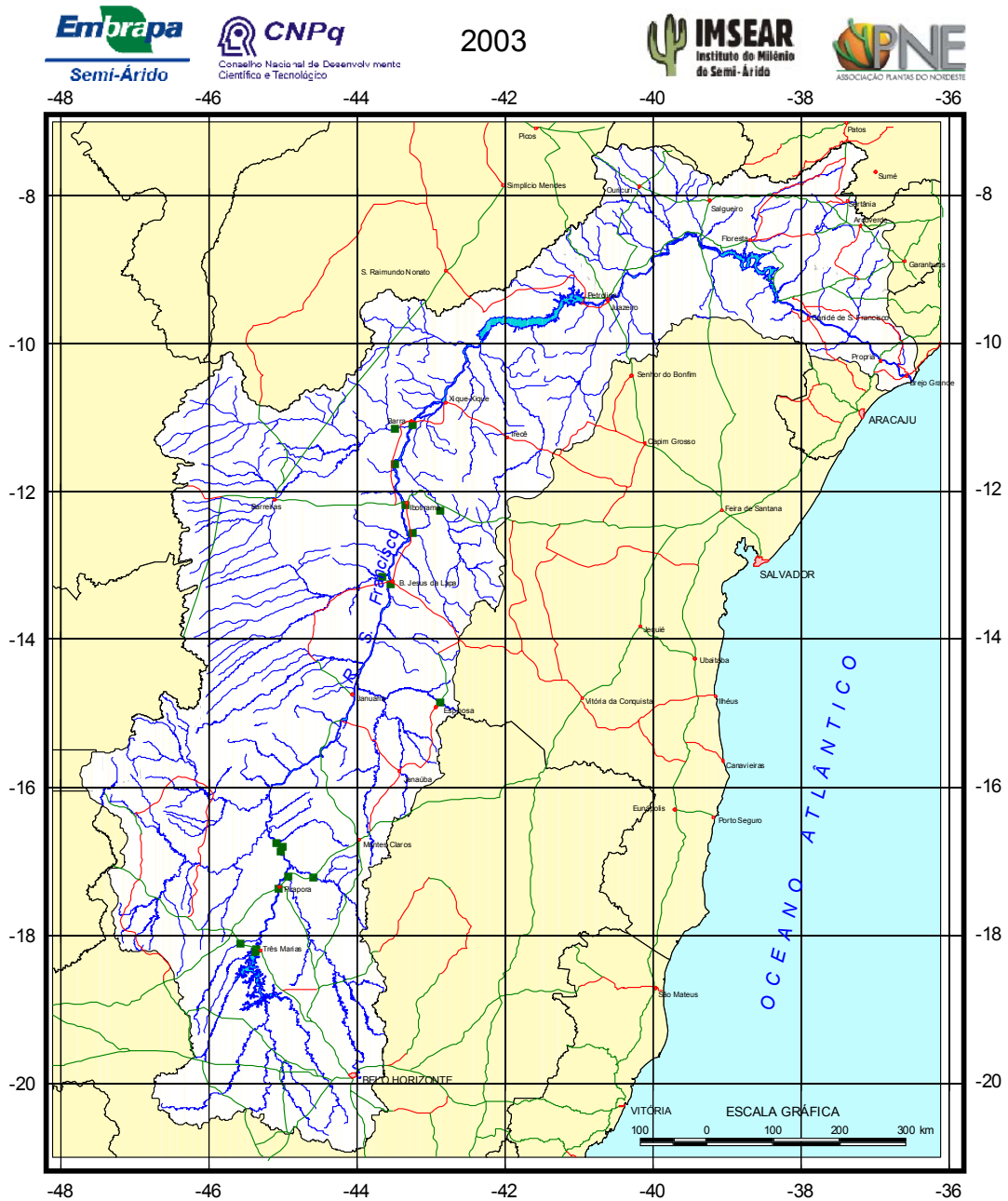
- |       |   |    |                        |
|-------|---|----|------------------------|
| PA    | Argissolo Amarelo                       | RL | Neossolo Litólico      |
| PVA   | Argissolo Vermelho-Amarelo              | RQ | Neossolo Quartzarênico |
| CX    | Cambissolo Háplico                      | RR | Neossolo Regolítico    |
| GX    | Gleissolo Háplico                       | RU | Neossolo Flúvico       |
| LA    | Latosolo Amarelo                        | SN | Planossolo Nátrico     |
| LA+RQ | Latosolo Amarelo+Neossolo Quartzarênico | VC | Vertissolo Cromado     |
| TC    | Luvisso Crômico                         |    |                        |

Lab. de Geoprocessamento da Embrapa Semi-Árido

Figura 2. Mapa de solos da bacia do Rio São Francisco

## MAPEAMENTO DOS SEDIMENTOS DO RIO SÃO FRANCISCO

### BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO



#### Convenções

- Limite da Bacia do Rio São Francisco
- Drenagem
- Rodovia Estadual
- Rodovia Federal
- Sede Municipal
- Pontos Visitados



Lab. de Geoprocessamento da Embrapa Semi-Árido

Figura 3. Mapeamento dos Sedimentos do Rio São Francisco



## Referencias Bibliográficas

- ANDERSON, H.W. Relative contributions of sediment from source areas and transport processes. ARS-S-40 U.S. Dept.. of Agriculture. 1975.
- BHARGARA, D.S. e MARIAN, D.W. Spectral reflectance relationships to turbidity generated by different clay materials. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 56, 1991, pp. 225-229.
- CHUVIECO, E.S. Fundamentos de teledetección espacial. Madrid, España, 3ª Ed. Ediciones Rialp. 1996. 568p.
- HERZ,R.; TANAKA, K. Método para classificação automática de padrões multiespectrais de imagens orbitais em águas costeiras. São José dos Campos, INPE, Out. 1978. (INPE-1385-PE/179).
- Ji, W.; CIVICO, D.L. e KENNARD, W.C. Satellite remote bathymetry: a new mechanism for modelling. *Photogrammetry Engineering and Remote Sensing*, vol. 58, 1992. pp. 545-549.
- ROCHA, G. O rio São Francisco: fator precípua da existência do Brasil. 3. ed. São Paulo: Ed. Nacional; [Brasília]: CODEVASF, 1983. 301 P.
- SAUSEN, T. M. Estudo da dinâmica do alto rio São Francisco e reservatório de três Marias, através de imagens MSS / LANDSAT. São José dos Campos: INPE, 1981. 231 p. 12 mapas anexo. (INPE. Publicação; 2249-TDL / 066). Tese de Mestrado em Sensoriamento Remoto, aprovada em nov. de 1980.
- SCHERZ, J.R., VAN DOMELEN, J.F. Water quality indicators obtainable from aircraft and Landsat images their use in classifying lakes. IN: *Intenational symposium on Remote Sensing of Envoronment*, 10 V.1, p. 447-460, 1975