

EVOLUÇÃO MORFOLÓGICA DE BANCOS DE SEDIMENTOS DO RIO SÃO FRANCISCO

Geraldo Wilson Júnior^{1*}; Mário Grüne de Souza e Silva²

Resumo - Um trecho fluvial está em equilíbrio sedimentológico quando a massa de sedimentos que entra na extremidade a montante se iguala à massa sólida que o deixa a jusante, num período de tempo. A extensão do trecho e o período de tempo que caracterizam o equilíbrio definem as escalas - espacial e temporal - do processo morfológico. Contudo, nesses trechos surgem variações morfológicas naturais, tais como: bancos de sedimentos e praias, solapamentos e erosões, arrombamentos, configurações de fundo, braços mortos e meandros. Interferências antrópicas na calha do rio e na bacia hidrográfica somam-se a estes processos, alterando ou não o equilíbrio morfológico do trecho, algumas vezes com conseqüências graves para o Meio Ambiente, Navegação e para o projeto ou atividade que originou a interferência. Neste artigo, mostra-se que: (i) levantamentos batimétricos em trechos de rios podem ser obtidos com o uso de imagens de satélite de altas e médias resoluções; e (ii) as imagens descrevem com precisão a evolução temporal de bancos móveis e margens. A partir dos resultados obtidos num trecho do Rio São Francisco, propõem-se medições *in-situ* e o uso de imagens de satélite, para calibração e validação dos modelos descritivos dos Processos Sedimentológicos e Morfológicos fluviais.

Palavras-Chave - Processos sedimentológicos e morfológicos; Rio São Francisco; Sensoriamento Remoto.

INTRODUÇÃO

Os sedimentos são colocados em movimento pela ação de elementos naturais e pela intervenção antrópica, na calha do rio e na bacia hidrográfica (Wilson-Jr. 2009). Entre os elementos naturais destacam-se as chuvas, os ventos, as ondas e vagas, as marés e os fenômenos sísmicos. A estas causas se somam intervenções do Homem, tais como: as construções de barragens, desmatamento, navegação, dragagens, mineração, rejeitos que incluem esgotos domésticos e industriais, irrigação, reservatórios, atividades esportivas, de lazer e turísticas (Figura 1). Ou seja, os sedimentos são colocados em movimento sempre que ocorrem alterações no leito do rio ou em sua bacia hidrográfica, originando dois tipos de movimento sólido nos escoamentos fluviais:

- i. dos sedimentos originários do leito do rio, que se deslocam por arraste ou em suspensão; e
- ii. dos sedimentos originários da lavagem da bacia hidrográfica.

Quando os sedimentos da bacia hidrográfica chegam ao curso d'água, ocorre uma triagem granulométrica no meio da fase líquida. Parte dos sedimentos, cujas dimensões são iguais ou superiores às do material do leito, se decanta e se deposita sobre o fundo, onde passa a se comportar como sedimentos da camada móvel (Wilson-Jr. 1987). Ao contrário, os sedimentos cujas dimensões são inferiores às do material do leito não conseguem se depositar e são transportados em suspensão no meio do escoamento turbulento, por longas distâncias. São os sedimentos finos de lavagem da bacia hidrográfica ou do tipo "*wash-load*".

¹ Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ. Programa de Engenharia Oceânica - PENO. Centro de Tecnologia, Bloco C, Sala 209. CEP 21.945-970 Rio de Janeiro, RJ. Fone: 55.21.3938.8741. jrwilson@gmail.com

² Fone: 55.21.3938.8755. mariosilva@poli.ufrj.br

É possível que exista, dependendo do caso estudado, uma relação não linear entre a descarga sólida dos **sedimentos do leito** e a vazão líquida do rio, do tipo:

$$q_b = a q^{n_s} \quad (1)$$

sendo q_b igual à descarga sólida por unidade de massa, força ou volume, por unidade de tempo e de largura; e q a vazão líquida, que pode ser expressa nestas mesmas unidades. a e $n_s > 1$ são constantes positivas, que dependem das características hidrossedimentológicas do trecho do rio.

O movimento de sedimentos do tipo "*wash-load*" corresponde à resposta mais rápida do rio às modificações ocorridas na bacia hidrográfica. Relaciona-se diretamente com a perda e uso do solo da superfície drenada da bacia hidrográfica. Desta forma, para se estimar as descargas sólidas dos rios, é fundamental distinguir as fontes dos sedimentos que estão sendo transportados e dispersos nos trechos estudados.

METODOLOGIA

Wilson-Jr. e Vukmirovic' (1980) e Wilson-Jr. (2009) desenvolveram uma metodologia para as descrições, qualitativa e quantitativa, do movimento de sedimentos em escoamentos com superfície livre, com realização simultânea de medições topobatimétricas, hidrossedimentométricas, uso de traçadores radioativos e técnicas de Sensoriamento Remoto.

De acordo com esta metodologia, para a descrição do movimento de sedimentos em cursos d' água, são necessárias três etapas (Figura 2) (Wilson-Jr, 1999, 2009): (1) Conhecimento da bacia hidrográfica, (2) Medições na natureza do movimento sólido, num trecho representativo do escoamento, e durante a realização dessas medições, (3) Determinação das propriedades hidrodinâmicas, sedimentológicas e hidrometeorológicas dessa parte representativa da bacia hidrográfica.



Figura 1. Origens e tipos de movimento de sedimentos (Wilson-Jr. 1999 2009)



Figura 2. Movimento de sedimentos em escoamentos com superfície livre (Wilson-Jr. 1999 2009)

Primeira Etapa: Conhecimento da Bacia Hidrográfica

O conhecimento da bacia hidrográfica envolve a descrição de suas características geográficas, geológicas, hidrometeorológicas, sedimentológicas, sócio-econômicas e históricas, entre outras, que abrange a interação com especialistas desses temas específicos. Nesta etapa, o uso de imagens de satélite é muito útil, pois permite identificar as características fixas (topografia, pedologia) e processar as características mutáveis (cobertura vegetal e tipo de solo) da bacia contribuinte, as quais condicionam os aportes de água e sedimento. O uso simultâneo destas técnicas e dos levantamentos hidrológicos e topográficos facilitam a aplicação das Equações de Perda de Solo e a elaboração de mapas de susceptibilidade à erosão (Wilson-Jr. 2009).

Segunda Etapa: Campanhas de Medições de Campo

Para a quantificação do movimento sedimentar, num trecho representativo da bacia hidrográfica ou imposto pelo projeto, são necessárias três campanhas simultâneas de medições de campo: diárias, periódicas e intensivas (Wilson-Jr. e Vukmirovic' 1980; Wilson-Jr. 2009).

Campanhas de medições diárias: Consistem do registro do nível d'água e da coleta de amostras de água para a determinação da concentração e granulometria dos sedimentos em suspensão. Estes valores diários, juntamente com os dados pluviométricos e evaporimétricos, caracterizam o(s) ciclo(s) hidrológico(s) do estudo.

Campanhas periódicas de medições: Devem ser realizadas em função das variáveis hidrometeoro-lógicas. Incluem medições de velocidade e de vazão líquida; monitoramento das fontes de erosão e assoreamento na bacia hidrográfica; coletas de sedimentos do leito e em movimento por arraste e suspensão; levantamentos topobatimétricos, incluindo determinações das declividades longitudinais da linha d'água e do leito, das cotas de cheias e de inundação, registro das formas de fundo e das características morfológicas do curso d' água e da bacia hidrográfica.

Campanhas intensivas de medições: Realizadas sob condições hidrológicas bem definidas; em geral durante o período das chuvas, quando se prevê maior produção de sedimentos, ou durante o período de águas médias, quando se tem um movimento sólido representativo das vazões geradoras do leito. Nestas ocasiões são realizadas, ao mesmo tempo, as medições das campanhas precedentes, acrescidas de: topobatimetria do trecho representativo, registro das configurações de fundo, e medições especiais da descarga sólida do material do leito.

Medições Especiais do Movimento de Sedimentos: Técnicas de Sensoriamento Remoto: Os resultados das campanhas de observações periódicas permitem que sejam obtidas relações analíticas entre as grandezas hidrodinâmicas e sedimentológicas do trecho do rio. Os resultados das campanhas diárias permitem que essas relações sejam estendidas ao(s) ciclo(s) hidrológico(s) da série de medições. Mas, são os resultados das medições especiais que permitem verificar (calibrar) e validar as expressões e modelos obtidos.

Esta metodologia foi desenvolvida no Brasil com emprego de radioisótopos e levantamentos topobatimétricos como medições especiais. Ela foi aplicada com sucesso na Bacia Hidrográfica do Rio Ivaí no Estado do Paraná (Wilson-Jr. *et al.* 1980). Entretanto, como o uso de radioisótopos tem-se restringido aos Institutos de Energia Nuclear, outros métodos têm sido cogitados para a medição direta dos movimentos dos sedimentos. Neste trabalho, propõe-se a utilização do Sensoriamento Remoto, juntamente com os levantamentos topobatimétricos, para calibração e validação dos modelos, ou seja, o uso da mesma técnica já adotada para o Conhecimento da Bacia Hidrográfica, como esquematizado na Figura 2. Os levantamentos topobatimétricos do trecho representativo fornecem dados qualitativos e quantitativos sobre a morfologia do rio, tais como, declividades longitudinais, evolução das formas de fundo, das zonas de erosão e deposição no leito e margens.

Borges (2004) e Borges *et al.* (2007) utilizaram o Sensoriamento Remoto para o estudo do assoreamento do reservatório Morro Grande no Estado do Rio de Janeiro. Analisaram uma imagem de alta resolução IKONOS e os dados de levantamentos batimétricos, os quais foram relacionados por meio do método de Krigagem Bayesiana. Os resultados mostraram uma boa correlação entre as profundidades obtidas com a imagem IKONOS e as medições batimétricas.

Esta técnica foi recomendada para: (i) medida do assoreamento de reservatórios e cursos d' água rasos (profundidades inferiores a 10,0 m), e (ii) gestão de dragagens de manutenção de canais de navegação, uma vez que os melhores coeficientes de correlação, entre os valores oriundos da imagem e da batimetria, foram obtidos para os trechos de menor profundidade, ou seja, para os trechos mais assoreados ou de baixios (Borges *et al.* 2007; Wilson-Jr. 2009).

Terceira Etapa: Características Hidrometeorológicas das Medições de Campo

As informações obtidas durante as campanhas de medidas, especialmente durante a Campanha de Medições Intensivas, são limitadas no tempo e a condições hidrometeorológicas bem definidas, que precisam ser conhecidas, para que os dados possam ser utilizados e extrapolados.

OBJETIVOS

1. Mostrar que os levantamentos morfológicos de um trecho do Rio São Francisco, incluindo seus bancos móveis, podem ser realizados com o uso de imagens satélite de média resolução (30,0 m) do tipo LANDSAT-5 TM, que são disponibilizadas gratuitamente pelo INPE, desde 1984.
2. Usar as imagens para análise da evolução temporal desses bancos e margens do trecho do rio.
3. Propor o uso de imagens LANDSAT-5 TM e de alta resolução ($\leq 1,0$ m) para a estimativa do movimento de sedimentos num trecho de escoamento com superfície livre.
4. Adotar os resultados obtidos para calibração e validação de modelos qualitativos e quantitativos do movimento de sedimentos em escoamentos com superfície livre.

CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DO TRECHO DO RIO SÃO FRANCISCO

O Rio São Francisco nasce na Serra da Canastra, em Minas Gerais. Até a foz, no Oceano Atlântico, entre os Estados de Sergipe e Alagoas, percorre uma distância de 2.830 km, drenando sete estados. Cerca de 2.000 km já foram navegáveis e se constituíram numa das principais vias de escoamento da produção das regiões Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste do país. Apesar de parte significativa do rio atravessar a região do semiárido (Figura 3), o rio é perene, devido aos altos índices pluviométricos das regiões de cotas elevadas de sua bacia (ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2004).

Projeto Básico de Irrigação Iuiú

O Projeto Básico de Irrigação Iuiú foi elaborado no ano 2000, para o desenvolvimento agrícola de uma área de 500 km², localizada no Estado da Bahia, a jusante da foz do Rio Verde Grande, na fronteira com o Estado de Minas Gerais. A vazão líquida prevista para o Projeto Iuiú foi de 29,7 m³/s de água desviada do Rio São Francisco. No período de seca deste ano, a vazão líquida medida por Wilson-Jr. (2000) foi de 1.045 m³/s. Concluiu-se que a vazão do Projeto Iuiú pode superar o valor correspondente a 3,0 % da vazão mínima local do Rio São Francisco!

O trecho do projeto localiza-se entre as estações hidrossedimentométricas: Manga, 30,0 km a montante, em Minas Gerais, e Carinhanha, 20,0 km a jusante, na Bahia, como indicado na Figura 4, na qual se destacam também, o trecho de estudos do Projeto Iuiú, as localizações, das alternativas de tomada d'água e dos seis bancos de sedimentos que foram analisados no período de 1985 a 2011.

Bancos Móveis de Sedimentos

O trecho do Rio São Francisco, no local das alternativas de tomada d'água, não é retilíneo (Figura 4). As seções transversais são assimétricas e, devido às variações de vazões líquidas durante o ciclo hidrológico ($Q_{\min} \approx 1.000$ m³/s a $Q_{\max} > 12.000$ m³/s), pode-se observar *in-situ* e nas imagens de satélite, tipos variados de configurações de fundo, ilhas e depósitos de sedimentos, que possuem propriedades cinemáticas e dinâmicas próprias.

Durante os períodos de estiagem, os depósitos de sedimentos ficam emersos, possibilitando à população ribeirinha o desenvolvimento de uma cultura de subsistência. Com a chegada das chuvas, o nível d'água do rio se eleva, inunda e lava as plantações, modifica os bancos e ilhas, retira e deposita sedimentos, fertiliza o solo, esculpi as margens, os leitos e os bancos móveis, altera antigas formas de fundo e cria novas. Na visita de campo de Julho de 2000, foram observados os Bancos 2,

4 e 6, enumerados de montante para jusante (Figura 4). Neste trabalho, com o auxílio das técnicas de Sensoriamento Remoto, observaram-se também, no período de 1985 a 2011, outros três: Bancos 1, 3 e 5. A análise da evolução temporal destes seis bancos também é um objetivo deste trabalho.



Figura 3. Região semiárida da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2004)

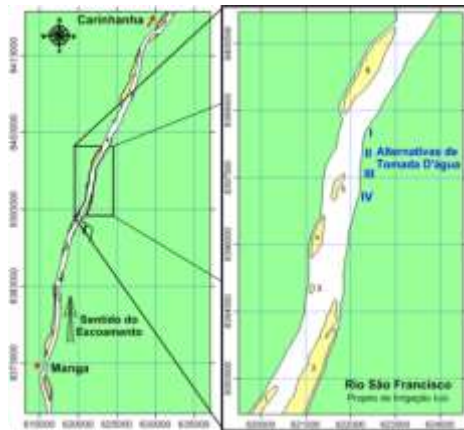


Figura 4. Projeto de Irrigação Iuiú: localização das seções alternativas de tomada d'água e dos bancos de sedimentos

Uso da Técnica de Sensoriamento Remoto

O estudo da evolução morfológica do trecho do Rio São Francisco iniciou-se com o uso de imagens do tipo LANDSAT-5 TM, para o período de 27 anos. A primeira meta do trabalho consistiu em verificar se este tipo de imagem possui resolução suficiente para reproduzir os contornos das margens e bancos de sedimentos. Esta meta foi denominada: Validação das Imagens LANDSAT-5.

Validação das Imagens LANDSAT-5 TM

As formas e contornos das margens e bancos identificados nas imagens LANDSAT-5 e resultantes do levantamento topobatimétrico foram comparados entre si (Figura 5). Utilizou-se a imagem do dia 11/07/2000, por ser a mais próxima do período do levantamento de campo, que se estendeu de 06/07 a 09/07/2000 (Wilson-Jr. 2000). O levantamento de campo foi realizado com equipamento GPS (*Global Positioning System*). A precisão das coordenadas dos pontos obtidos no terreno variou de 1,0 a 3,0 m. A validação desta imagem foi feita, comparando-se as áreas secas e molhadas do trecho do rio obtidas da imagem, com os valores obtidos no campo (Figuras 5, 6 e 7).

A discrepância máxima, entre as áreas levantadas no campo e a partir da imagem de satélite, foi inferior a 7 %. Considerando-se as resoluções espaciais do GPS ($\leq 3,0$ m), e a da imagem LANDSAT-5 (30,0 m), o erro máximo de 7 % foi considerado aceitável. Assim, conclui-se desta validação que as imagens LANDSAT-5 TM podem ser utilizadas para o estudo da evolução temporal das variações morfológicas do Rio São Francisco (Primeiro objetivo do trabalho).

Evolução Morfológica dos Bancos de Sedimentos

Para se avaliar a evolução morfológica do trecho do Projeto Iuiú foram utilizadas 26 imagens de satélite do período de estiagem, obtidas durante os anos de 1985 a 2011. Somente o ano de 2002 não foi considerado no estudo, por não ter apresentado uma imagem LANDSAT-5 adequada, durante a estação seca. Após as etapas iniciais do tratamento de imagens: georeferenciamento, redimensionamento e digitação dos contornos, as formas dos bancos e ilhas foram analisadas. Constatou-se que alguns bancos de sedimentos são intermitentes, enquanto outros são permanentes; que alguns se alongaram ou migraram para jusante, enquanto outros permaneceram na mesma posição, mas sujeitos a modificações morfológicas anuais.

Os Bancos 2, 4 e 6 da Figura 4 são permanentes, pois estiveram presentes em todas as 26 imagens analisadas. O Banco 1 também pode ser considerado permanente, embora só tenha alcançado a área delimitada do Projeto Iuiú, no ano 2001. Antes, o banco se situava a montante dos limites dos mapas, mas assim como o Banco 2, prolongou-se para jusante. Os Bancos 3 e 5 representam depósitos móveis intermitentes, que surgem durante alguns anos, geralmente após os períodos de cheia, mas que são erodidos gradualmente durante os períodos subsequentes, a medida que as águas baixam. O Banco 3 esteve presente durante os anos de 1990 e 1991, enquanto o Banco 5 surgiu durante os anos de 1987, 1989, de 1993 a 1996, e novamente em 1998, 1999 e 2001.

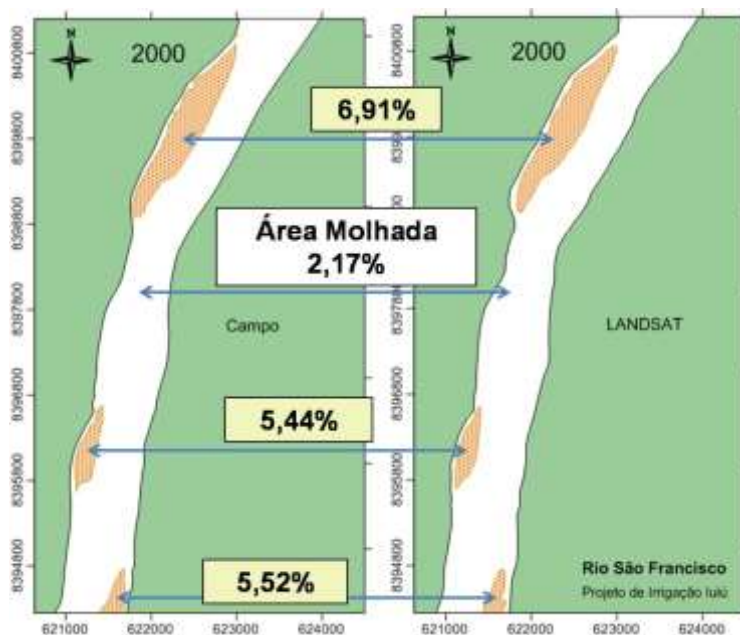


Figura 5. Contornos das margens, ilhas e bancos de sedimentos determinados no campo e através da imagem LANDSAT-5 TM (Souza e Silva, 2013)



Figura 6. Levantamentos Geográfico e Morfológico da Barra do Rio Verde Grande (Wilson-Jr. 2000)



Figura 7. Levantamentos Geográfico e Morfológico dos Bancos de Areia do Rio São Francisco (Wilson-Jr. 2000)

Chamando-se a soma das áreas emersas dos seis bancos de **Área Seca**, e o complemento desta soma em relação à área do trecho do rio, de **Área Molhada**, pode-se descrever o comportamento sedimentológico do trecho, cujos resultados estão resumidos nas Figuras 8 e 9, a seguir.

Percebe-se que houve aumento da Área Seca, e conseqüentemente, uma diminuição da Área Molhada, no decorrer dos 17 primeiros anos (1985 – 2001). Em seguida, durante o período de 2003 a 2011 os valores das Áreas Secas e Molhadas mantiveram-se constantes. Isto indica que o trecho do Projeto de Irrigação Iuiú se assoreou no primeiro período (1985 - 2001), e posteriormente, (2003 - 2011) alcançou o equilíbrio sedimentológico. O valor estimado do assoreamento foi de 7,70 % em relação ao valor registrado em 1985.

Dos gráficos da Figura 8 observa-se que: (i) as vazões líquidas nos dias das passagens do satélite oscilaram em torno de 1.000 m³/s, valor comum durante o período de estiagem na região. (ii) Nos anos em que as vazões líquidas se distanciaram deste valor, as áreas, molhada e seca, variaram de modo coerente, o que evidencia a sensibilidade dos contornos definidos pelas imagens. O assoreamento do trecho fica ainda mais evidente quando se analisam, separadamente, as variações temporais da área seca de cada um dos bancos de sedimentos (Figura 9).

Desta forma, mostrou-se que as imagens LANDSAT-5 podem ser utilizadas para a descrição da evolução temporal dos bancos móveis e margens do trecho de um rio de dimensões semelhantes às do Rio São Francisco na fronteira dos Estados de Minas Gerais e Bahia (Objetivo 2, do artigo).

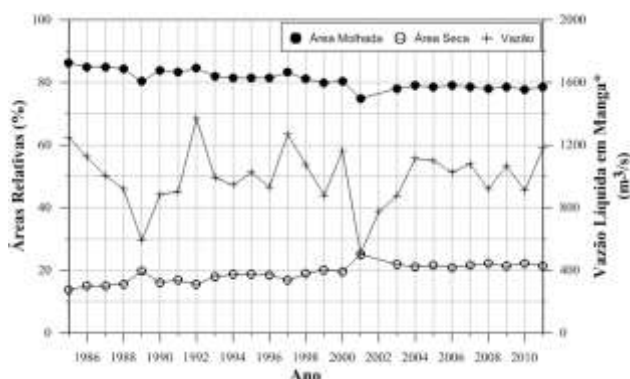


Figura 8. Evoluções temporais das áreas secas e molhadas em relação à área do trecho do Projeto Iuiú, no Rio São Francisco (Souza e Silva, 2013)

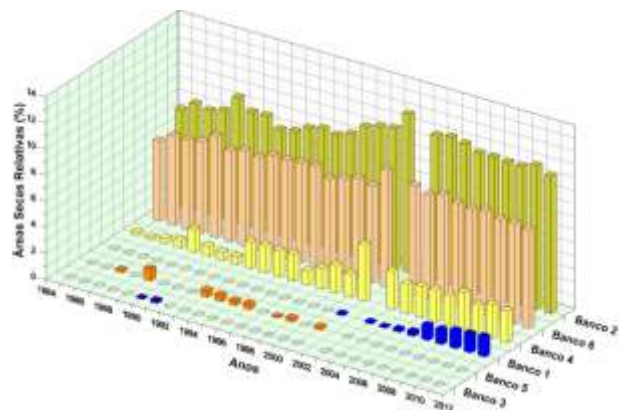


Figura 9. Evoluções dos bancos de sedimentos do trecho do Rio São Francisco, de 1985 a 2011 (Souza e Silva, 2013)

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Considerando-se as variações morfológicas dos bancos de sedimentos (Figuras 8 e 9), assim como as constatações de campo de Wilson-Jr. (2000), concluiu-se que:

1. O Banco 1 pode ser considerado permanente, embora tenha sido identificado somente a partir de 2001, quando passou a se deslocar dentro dos limites dos mapas. De 2001 a 2009 apresentou um crescimento gradativo anual, que se estabilizou em torno de 1,3% da área seca total.
2. Os ribeirinhos consideram que a margem direita do rio é mais estável que a margem esquerda (Wilson-Jr. 2000). De fato, além de ser mais elevada, a margem direita apresenta um só banco de sedimentos: o Banco 2, formado na foz do Rio Verde Grande. No período de 1985 a 1998, constatou-se um aumento gradativo desta barra, no interior do Rio São Francisco. Nos anos subsequentes, ela se manteve estável, ocupando cerca de 10% da área seca total do trecho.
3. Os Bancos 3 e 5 surgiram em épocas distintas no trecho e desapareceram nos anos seguintes. O Banco 5 permaneceu por um tempo mais longo, durante o período de 1993 a 1996, e sua última aparição foi no ano de 2001. Os comportamentos destes bancos merecem uma análise mais aprofundada. É provável que se relacionem diretamente com as interferências antrópicas que ocorrem nas Bacias Hidrográficas dos Rios São Francisco e Verde Grande.
4. Os Bancos 4 e 6 são permanentes e clássicos em trechos semelhantes ao da foz do Rio Verde Grande (Wilson-Jr, 2000; Yang, 2003). Apresentaram um crescimento gradativo até o início do século e mantiveram as áreas secas constantes até 2011. Os valores percentuais em relação à área seca total do trecho cresceram de 2,5 % a 8,0 %, quando se estabilizaram.
5. Nenhuma alteração significativa foi constatada nas margens do trecho, nesses 27 anos!

O uso de Sensoriamento Remoto constitui uma ferramenta essencial para os estudos dos Processos Sedimentológicos e Morfológicos em escoamentos com superfície livre. Além da visão comum das margens, limitada no tempo e no espaço, o observador possui a mais, uma visão dinâmica de topo, ampla e detalhada da bacia hidrográfica, do trecho do rio e mesmo do leito do rio. Neste trabalho, mostrou-se que as imagens LANDSAT 5 TM disponibilizadas pelo INPE, descrevem com precisão da ordem de 7 %, as dimensões e posicionamentos dos bancos de sedimentos em escoamentos do porte do Rio São Francisco.

A metodologia apresentada por Wilson-Jr e Vukmirovic' (1980), inicialmente desenvolvida para o uso de radioisótopos, foi adaptada aos resultados obtidos: da análise de imagens de satélite e dos métodos topobatimétricos e hidrossedimentométricos (Wilson-Jr. 1999 e 2009).

Souza e Silva & Wilson-Jr. (2012) e Souza e Silva (2013) utilizaram as Imagens de Satélite LANDSAT-5 TM para descrever a evolução temporal, durante 27 anos, de bancos de sedimentos e margens de um trecho de 10,0 km do Rio São Francisco.

Recomenda-se que as técnicas de Sensoriamento Remoto sejam introduzidas nas etapas da Metodologia do Estudo do Movimento de Sedimentos (Figura 1), para o Conhecimento da Bacia Hidrográfica e como medição especial dos Processos Sedimentológicos e Morfológicos, para calibração e validação dos modelos descritivos do movimento de sedimentos em cursos d' água.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

a) Livros, Teses e Dissertações.

BORGES, F.S.P. (2004). *Estimativa de batimetria utilizando Sensoriamento Remoto e Krigagem Bayesiana. Estudo de caso: Reservatório Morro Grande, Rio de Janeiro*. Dissertação de Mestrado em Ciências em Engenharia Civil. Programa de Engenharia Civil. 294 p. COPPE-UFRJ. Rio de Janeiro.

SOUZA e SILVA, M.G. (2013). *Análise de processos hidrossedimentológicos em escoamentos com superfície livre: trecho do projeto de irrigação Iuiú no Rio São Francisco*. Dissertação de M.Sc. Programa de Engenharia Oceânica. COPPE-UFRJ.

VIEIRA DA SILVA, R.C.; WILSON-JR, G. (2005). *Hidráulica fluvial*. Ed. COPPE-UFRJ, Vol. II. Rio de Janeiro, Brasil, 255 p. il., 2005.

WILSON-JR., G. (1987). *"Etude du transport et de la dispersion des sédiments en tant que processus aléatoires"*. Thèse de Doctorat d' Etat ès Sciences Physiques. Université Paris VI, France.

YANG, C.T. (2003). *Sediment transport: theory and practice*. 2 Ed, The McGraw-Hill, NY, 396 p., USA.

b) Capítulo de Livro

SOUZA e SILVA, M.G.; WILSON-JR., G. (2012). "Evolução temporal dos bancos móveis de um trecho do Rio São Francisco com uso de sensoriamento remoto". Capítulo XXXII do livro: *X ENES: Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos*. ABRH. Foz do Iguaçu, pp. 423-438. Estado do Paraná, Brasil.

c) Relatórios técnicos

ANA/GEF/PNUMA/OEA (2004). *Projeto de gerenciamento integrado das atividades desenvolvidas em terra na bacia do São Francisco. Subprojeto 4.5C - Plano decenal de recursos hídricos da bacia do Rio São Francisco - PBHSF (2003-2013)*. Síntese com apreciação das deliberações do CBHSF. 150 p. Brasília.

WILSON-JR., G. (2000). *Estudos hidráulicos e sedimentológicos referentes às alternativas de tomada d'água do Rio São Francisco para o Projeto de Irrigação Iuiú*. COPPETEC-PENO-UFRJ. V.1, 198 p.il. RJ.

WILSON-JR., G.; RODRIGUEZ, H.T.; SANTOS, J.S. (1980). *Estudos hidráulicos e sedimentológicos realizados no trecho inferior do Rio Ivaí, Noroeste do Paraná*. OEA: Projeto Hidrologia. Brasil.

d) Artigo em anais de congresso ou simpósio

BORGES, F.S.P., ROTUNNO FILHO, O.C., WILSON-JR., G. (2007). Estimate of open channel flow bathymetry using remote sensing and the Bayesian Kriging method. *ICGRHWE'07-FM25'07*. Guangzhou, Three Gorges, China.

WILSON-JR., G. (1999). "Estudo do movimento sedimentar em escoamentos com superfície livre". XIII SBRH - Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Belo Horizonte, MG, Brasil.

WILSON-JR., G. (2009). "Evolução morfológica de trechos hidroviários". *6º Seminário de Transporte e Desenvolvimento Hidroviário Interior*. SOBENA. Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

WILSON-JR., G.; SOUZA e SILVA, M.G. (2014). "Evolução de trechos hidroviários de fundo móvel". *25º Congresso Nacional de Transporte Aquaviário, Construção Naval e Offshore*. SOBENA. Rio de Janeiro. RJ.

WILSON-JR., G.; VUKMIROVIC, V. (1980). "Sediment transport on the Ivaí River, Brazil". *Symposium on River Engineering and its Interaction with Hydrological and Hydraulic Research*. IARH, Belgrado.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa de Engenharia Oceânica da COPPE-UFRJ, a CAPES, FAPERJ e CNPq, pelos apoios institucional e financeiro recebidos, e, em especial ao Eng. Geraldo Godinho Pinto pelos levantamentos de campo, sem os quais não teria sido possível a realização deste trabalho.