

CONSÓRCIO UHE ITAOCARA

AHE ITAOCARA I / AHE ITAOCARA II

ANÁLISE DE IMPACTO AMBIENTAL: ESTUDOS SEDIMENTOLÓGICOS

- RELATÓRIO DOS ESTUDOS DE IMPACTO AMBIENTAL -

0309-RTE01-R00

- ABRIL DE 2010 -

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	3
A. DIAGNÓSTICO SEDIMENTOLÓGICO	4
A1. Introdução.....	4
A2. Informações Básicas.....	5
A3. Caracterização do Equilíbrio Morfodinâmico	8
A4. Caracterização da Bacia do Rio Paraíba do Sul.....	14
A4.1. Rede Hidrográfica	14
A4.2. Empreendimentos Hidráulicos.....	17
A4.3. Geomorfologia Fluvial	22
A4.3.1. Aspectos Geológicos e Geomorfológicos Gerais.....	22
A4.3.2. Potencial Erosivo da Bacia.....	25
A4.3.3. Dinâmica da Produção de Sedimentos.....	27
A4.3.5. Complementos da Geomorfologia Fluvial.....	39
A4.4. Característica do Delta do Rio Paraíba do Sul	42
A4.5. Características do Regime Sedimentológico.....	51
A.4.6. Conclusões	60
B. CÁLCULO DA VIDA ÚTIL DOS RESERVATÓRIOS.....	63
B1. Introdução.....	63
B2. Cálculo do Volume de Assoreamento e da Vida Útil do Reservatório do AHE ITAOCARA I	63
B3. Cálculo do Volume de Assoreamento e da Vida Útil do Reservatório da AHE ITAOCARA II	70
C. PROGNÓSTICO SEDIMENTOLÓGICO	73
C1. Considerações Gerais.....	73
C2. Prognóstico Sedimentológico do AHE ITAOCARA I.....	74
C3. Prognóstico Sedimentológico do AHE ITAOCARA II.....	76
C4. Prognóstico Sedimentológico para o Trecho de Jusante.....	78
D. PROGRAMAS AMBIENTAIS	79
D1. Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico	79
D2. Programa de Monitoramento Topobatimétrico dos Reservatórios	87
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	91

APRESENTAÇÃO

No item está sendo tratado o tema relativo aos **Estudos Sedimentológicos**, abrangendo o diagnóstico e prognóstico do transporte sólido na bacia do rio Paraíba do Sul, considerando as condições atuais e as condições futuras com a inserção dos aproveitamentos hidrelétricos AHEs Itaocara I e Itaocara II.

O diagnóstico foi elaborado com base nos dados sedimentométricos disponíveis na bacia e nas características dos entalhes geomorfológicos, definidoras das regiões produtoras de sedimentos e dos trechos fluviais típicos de transporte e de deposição, focando na morfogênese do delta do rio Paraíba do Sul. Para a elaboração do prognóstico, foram utilizados os resultados dos estudos de cálculo da vida útil dos reservatórios dos aproveitamentos, representados pelas respectivas eficiências de retenção, procurando identificar eventuais impactos no equilíbrio morfodinâmico no trecho fluvial de jusante, até a foz no oceano Atlântico.

A partir dos resultados do diagnóstico e do prognóstico, foram propostos programas ambientais específicos, baseados no monitoramento sedimentométrico e no acompanhamento da evolução das isóbatas dos reservatórios.

Os temas estudados foram divididos e agrupados nos seguintes capítulos:

- ❑ Capítulo A: Diagnóstico Sedimentológico, descrevendo as condições atuais do transporte sólido na bacia, com a prescrição dos possíveis impactos decorrentes da operação das obras hidráulicas e das condições de uso e ocupação do solo;
- ❑ Capítulo B: Cálculo da Vida Útil dos Reservatórios, reproduzindo os estudos de assoreamento feitos na etapa de Projeto Básico, com a indicação da capacidade de retenção de sedimentos dos reservatórios;
- ❑ Capítulo C: Prognóstico Sedimentológico, resultado da combinação do diagnóstico e do cálculo da eficiência de retenção dos reservatórios, associado à análise prospectiva de possíveis impactos no equilíbrio morfológico no trecho fluvial a jusante dos aproveitamentos;
- ❑ Capítulo D: Programas Ambientais, contendo a descrição dos programas sugeridos para implantação durante a vida útil dos aproveitamentos, visando o preenchimento de lacunas de informações que poderão validar ou reformular os impactos prognosticados.

A. DIAGNÓSTICO SEDIMENTOLÓGICO

A1. INTRODUÇÃO

A bacia do rio Paraíba do Sul, que recorta parte dos territórios de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo, sempre constituiu importante papel na economia brasileira, funcionando como corredor comercial no ciclo do ouro, possuindo a maior produção nacional de café e cana-de-açúcar no final do Século XVIII e início do Século XIX ou como importante pólo industrial a partir do Século XX. Essas atividades sempre impuseram grande impacto na dinâmica de geração de sedimentos, devido à supressão das matas com a agricultura, pecuária, expansão urbana ou mesmo para alimentar as locomotivas a vapor da extensa malha ferroviária que operava na bacia.

Atualmente, a intensa atividade industrial ocorre em função das boas condições de infraestrutura que a bacia oferece, tais como: mercado consumidor, fácil escoamento da produção, suprimento de água e energia. Os dois últimos itens apresentam-se como aqueles de maior interesse nesse estudo, pois a demanda por água e energia resulta, muitas vezes, na construção de obras que modificam o equilíbrio sedimentológico de uma bacia hidrográfica. Existe hoje, na bacia, cerca de quarenta (40) reservatórios para geração de energia ou abastecimento público, além da derivação na Estação Elevatória de Santa Cecília que desvia em média 146 m³/s (quase 60% da vazão média de longo termo) do rio Paraíba do Sul em Barra do Piraí-RJ, para geração de energia elétrica na vertente Atlântica (Sistema Paraíba/Piraí) e abastecimento da cidade do Rio de Janeiro (Sistema Guandu).

Todas essas intervenções atuam como redutoras do volume de sedimento aportado no delta do rio Paraíba do Sul, pois retêm o sedimento de fundo, no caso dos reservatórios, ou reduzem a capacidade de transporte de material sólido do rio, como a derivação em Barra do Piraí. Tendo em vista o cenário atual da bacia, relativo à operação de obras hidráulicas e aos testemunhos que se apresentam no trecho de transporte entre as cidades de Resende-RJ e São Fidélis-RJ (baixas taxas específicas de descarga sólida), ou mesmo na barra do rio Paraíba do Sul (erosão litorânea na praia de Atafona), tem-se o indício de que o equilíbrio hidrossedimentológico da bacia já se encontra rompido.

Esse Capítulo apresenta um diagnóstico do regime de transporte de sedimentos na bacia do rio Paraíba do Sul, destacando o impacto das obras hidráulicas existentes e as condições de equilíbrio morfodinâmico, principalmente na região do delta.

Além desse item introdutório, os estudos de diagnóstico realizados foram distribuídos pelos seguintes tópicos:

- Item A2: descrição dos dados básicos utilizados nos estudos;
- Item A3: conceitos básicos de equilíbrio morfodinâmico dos cursos de água;
- Item A4: caracterização da bacia do rio Paraíba do Sul, abrangendo a rede de drenagem, os principais empreendimentos hidráulicos implantados, os aspectos mais relevantes da

geomorfologia fluvial, a morfologia do delta e descrição do regime sedimentológico, juntamente com o respectivo diagnóstico das condições de transporte sólido;

A2. INFORMAÇÕES BÁSICAS

As informações básicas utilizadas nos estudos constaram de registros das estações sedimentométricas, estudos anteriores pertinentes ao tema e dados cadastrais das obras hidráulicas implantadas na bacia do rio Paraíba do Sul.

As informações básicas utilizadas no estudo foram:

- ❑ Projeto Básico dos AHEs Itaipava I e II, elaborado pela PCE Engenharia, em novembro de 2009;
- ❑ “Diagnóstico das Condições Sedimentológicas dos Principais Rios Brasileiros”, elaborado pela ELETROBRÁS em 1992;
- ❑ Curvas-chaves de sedimento em suspensão das estações hidrossedimentométricas de Volta Redonda e Moura Brasil, extraídas do documento “Diagnóstico dos Recursos Hídricos”, elaborado pela Fundação COPPETEC em agosto de 2006 e disponibilizado pelo Comitê da Bacia do Paraíba do Sul (CEIVAP);
- ❑ Dados de concentração do material em suspensão no rio Paraíba do Sul monitorados no trecho fluvial de implantação dos AHEs Itaipava I e Itaipava II, cujos levantamentos foram realizados e disponibilizados pelo Consórcio UHE Itaipava;
- ❑ Dados de concentração do material em suspensão das estações hidrossedimentométricas da bacia do rio Paraíba do Sul, disponibilizadas pela Agência Nacional das Águas (ANA);
- ❑ Dados de vazão média diária das estações hidrossedimentométricas da bacia do rio Paraíba do Sul, disponibilizadas pela ANA. Foram utilizados apenas os dados a partir de 1979 por se tratar do ano de término da construção da UHE Paraibuna/Paraitinga que possui reservatório com volume de 4732 hm³ e grande capacidade de regularização de vazão e retenção de sedimento.

A Tabela A2.1 lista as principais características das estações utilizadas no estudo e a Figura A2.1 ilustra as respectivas localizações.

Também foram utilizadas informações bibliográficas específicas, que foram citadas e discriminadas no texto, à medida que se inseriam no corpo do relatório.

Tabela A2.1 – Características das estações hidrossedimentométricas utilizadas no estudo.

Entidade	Código	Estação	Curso de água	Localização		Área de drenagem (km ²)
				Latitude	Longitude	
ANA	58960000	Cardoso Moreira	Muriaé	21°29'14"	41°37'00"	7283
ANA	58770000	Cataguases	Pomba	21°23'22"	42°41'47"	5858
ANA	58790000	Santo Antônio de Pádua	Pomba	21°32'32"	42°10'50"	8245
ANA	58480500	Juiz de Fora	Paraibuna	21°46'42"	43°19'31"	981
CEIVAP	58440000	Moura Brasil	Piabanha	22°08'30"	43°09'27"	2049
ANA	58099000	Santa Branca	Paraíba do Sul	23°22'08"	45°54'08"	4935
ANA	58183000	Pindamonhangaba	Paraíba do Sul	22°54'40"	45°28'13"	9576
ANA	58235100	Queluz	Paraíba do Sul	22°32'24"	44°46'22"	12.749
ANA	58250000	Resende	Paraíba do Sul	22°28'00"	44°26'43"	13.882
CEIVAP	58305000	Volta Redonda	Paraíba do Sul	22°30'05"	44°05'26"	15.980
ANA	58321000	Barra do Pirai	Paraíba do Sul	22°26'58"	43°47'56"	17.639
ANA	58630002	Anta	Paraíba do Sul	22°02'07"	42°59'27"	30.579
Consórcio UHE Itaocara	58678080	Itaocara	Paraíba do Sul	21°39'57"	-42°04'52"	33.628
ANA	58974000	Campos - Ponte Municipal	Paraíba do Sul	21°45'12"	41°18'01"	55.500

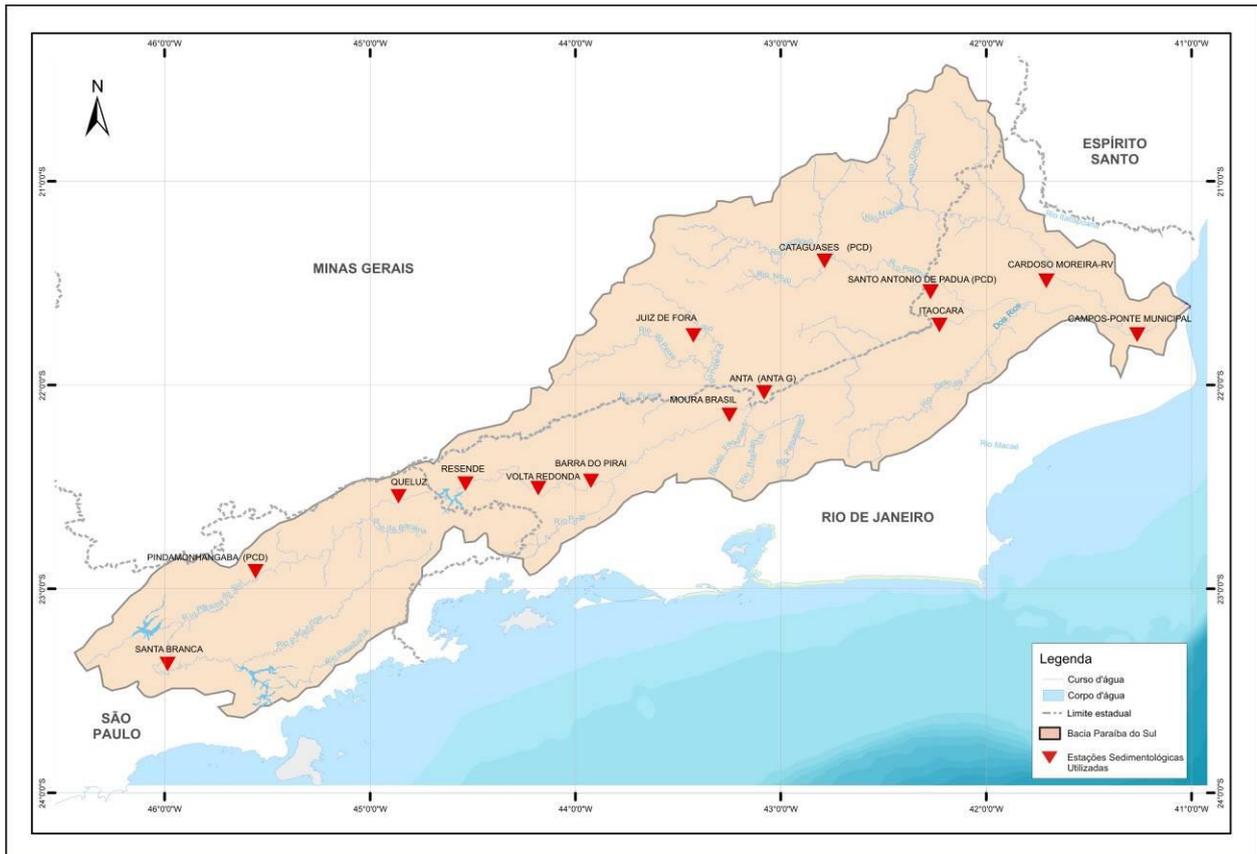


Figura A2.1 - Localização das estações hidrossedimentométricas selecionadas.

A3. CARACTERIZAÇÃO DO EQUILÍBRIO MORFODINÂMICO

A finalidade da descrição apresentada nesse Item é a de caracterizar os elementos do equilíbrio morfodinâmico, em suas generalidades, para facilitar o entendimento do diagnóstico das condições atuais e dos prognósticos relativos aos impactos decorrentes da implantação dos aproveitamentos. No Item A.4 serão apresentadas descrições mais específicas às peculiaridades da bacia do rio Paraíba do Sul, situando a relação do transporte sólido com a operação das obras hidráulicas e com o equilíbrio da região do delta.

Sob o aspecto geomorfológico, as bacias hidrográficas apresentam um desenvolvimento entre as cabeceiras e a foz conforme mostrado na Figura A3.1.

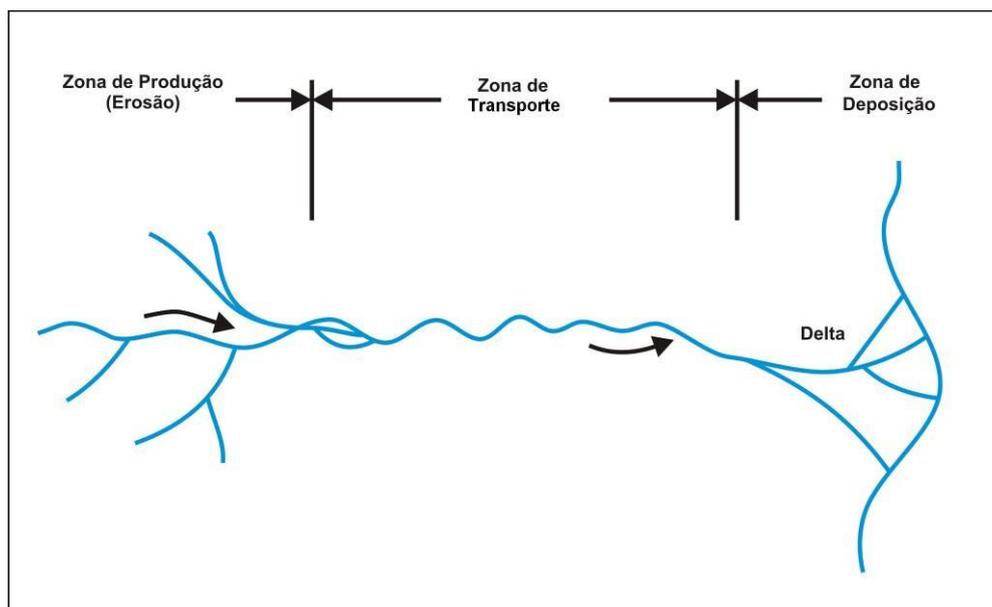


Figura A3.1 – Gênese e transporte de sedimentos nas bacias hidrográficas.

Os terrenos das cabeceiras apresentam topografia mais íngreme e assim um maior potencial de produção de sedimentos. O uso inadequado do solo nas partes altas das bacias hidrográficas pode resultar em focos de erosão, que intensificam o processo natural de geração de sedimentos (intemperismo natural). O potencial de produção de sedimentos é controlado pelas condições climáticas, tipos de solos e cobertura vegetal. Na região das cabeceiras, o entalhe dos cursos de água é bastante condicionado pelos contornos geológicos, com a rede de drenagem orientada segundo falhas e estruturas de macroescala.

Na seqüência de montante para jusante, as declividades dos terrenos e dos cursos de água ficam reduzidas, apresentando menor potencial erosivo, mas alta capacidade de transporte dos sedimentos gerados nas cabeceiras. Essa porção da bacia identifica-se como Zona de Transporte, já ocorrendo alguns depósitos aluviais e tendências de formação de meandros. Os cursos de água inseridos nessa área apresentam condições de equilíbrio morfodinâmico, essencialmente balanceado pelos volumes de sedimentos que entram e saem dos trechos fluviais.

Finalmente, nas proximidades da foz as declividades ficam bastante reduzidas, caracterizando uma Zona de Deposição, onde são formados os deltas e os pântanos. A morfologia dessa zona fica totalmente influenciada pelas condições de contorno de jusante, que são representadas pelos níveis de água do rio principal (em caso de cursos de água afluentes) ou pela flutuação das marés, em rios com deságüe em estuário.

Por conta dessa característica morfogenética das bacias hidrográficas, resulta que a produção de sedimentos não aumenta na mesma proporção que a magnitude da área de drenagem, ao se progredir de montante para jusante, no sentido do perfil longitudinal do curso de água principal. Assim, ocorre uma redução na taxa **produção de sedimentos / área de drenagem** (produção específica, em ton/km².ano ou em m³/km².ano), indicando uma relação típica com a área de drenagem, conforme mostrado na Figura A3.2.

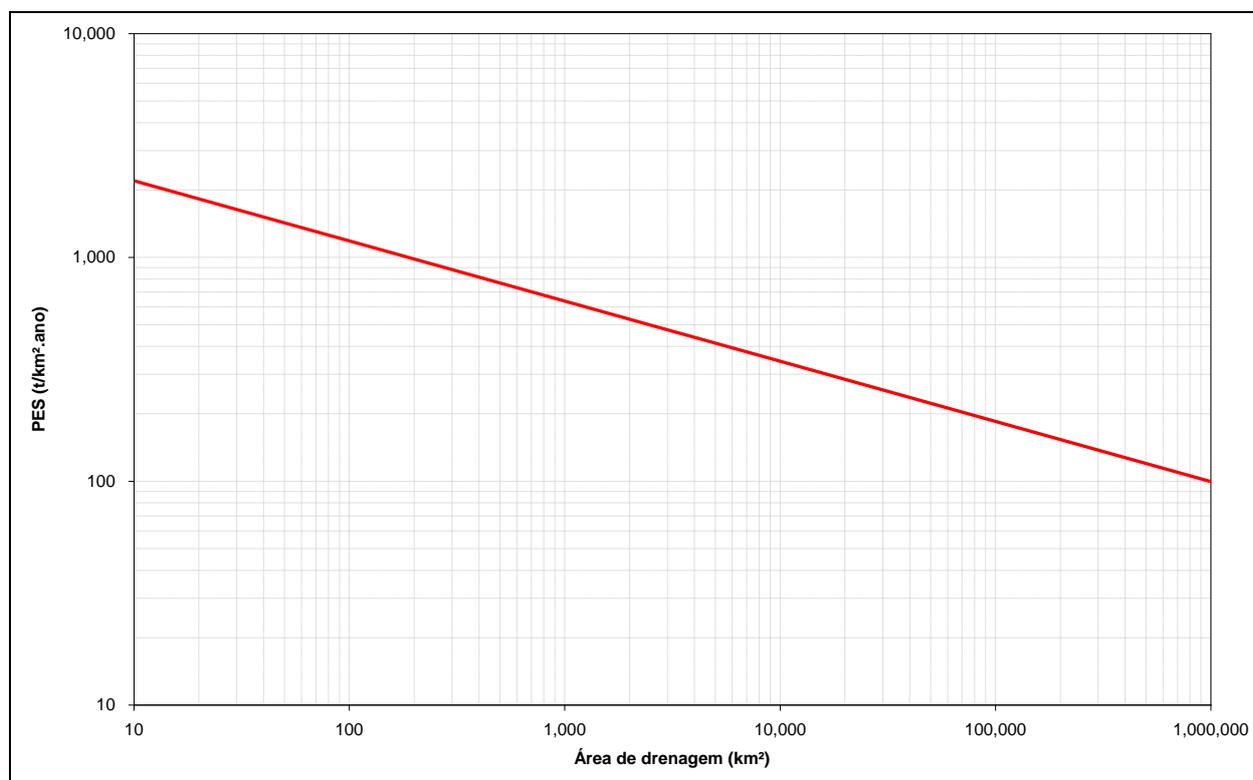


Figura A3.2 – Variação típica da produção específica de sedimentos em uma bacia hidrográfica.

A morfogênese dos cursos de água localizados na Zona de Deposição é bastante dinâmica, podendo ocorrer mudanças na geometria dos canais em curtos espaços de tempo. As mudanças dependem das taxas de transporte sólido e das possíveis combinações hidráulicas de perfis de escoamento do curso de água controlador do nível de base ou do alcance da influência das ondas e marés.

Em um trecho fluvial de canais entalhados em planícies aluviais, ocorre uma interação permanente entre as variáveis **descarga sólida** e **descarga líquida**, contrabalançando-se em equilíbrio por meio da declividade do álveo e da gradação do diâmetro mediano do material transportado no leito. Essa interação, representada esquematicamente na Figura A3.3, resulta em erosão ou assoreamento do leito, sempre que uma das grandezas passa por alteração

brusca. Nessas condições de desequilíbrio, o curso de água tende a retomar o equilíbrio, por meio do ajuste da declividade ou da granulometria do material do leito.

O equilíbrio ocorre por conta do balanço e conservação de massas, indicando que o volume de sedimentos que aporta à seção de montante de um trecho fluvial tende a se igualar com o volume que sai no extremo de jusante, para as condições médias de longo termo. Essas condições de equilíbrio fluvial, representadas de forma qualitativa pelo esquema da Figura A3.3, que traduz a chamada **Equação de Lane**, podem ser expressas pela equação A3.1.

$$Q_L \cdot S_0 \propto Q_S \cdot D_{50} \quad (\text{Equação A3.1})$$

na qual Q_L é a descarga líquida, Q_S a descarga sólida, S_0 a declividade do álveo e D_{50} o diâmetro mediano do material do leito.

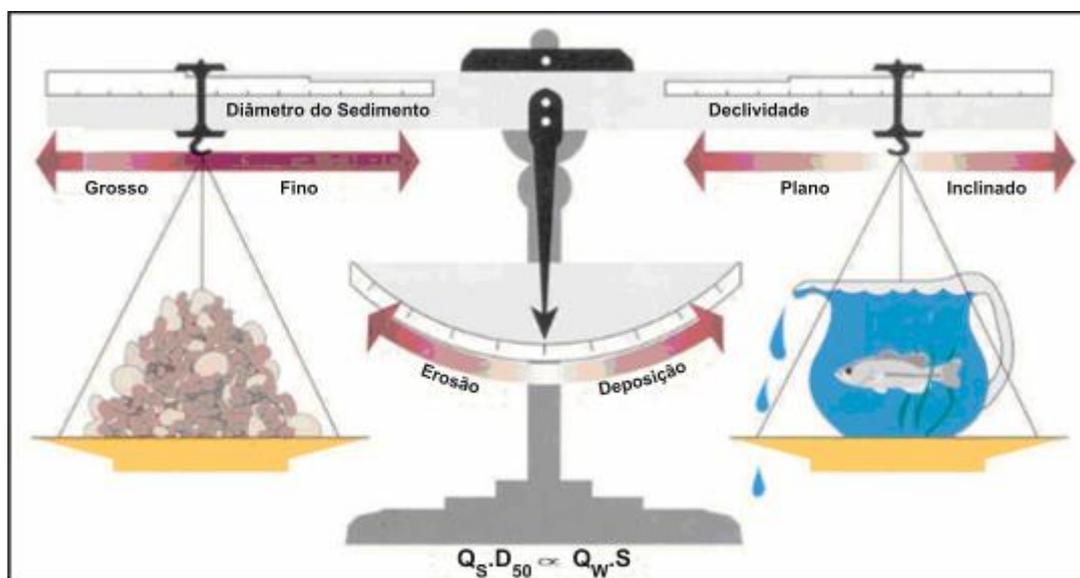


Figura A3.3 – Representação esquemática da equação de equilíbrio morfodinâmico (Adaptada de FISRWG, 1998).

A interação dinâmica das grandezas representadas na Figura A3.3 modela a geometria das calhas fluviais, formatando dois leitos distintos de escoamento, conforme esquematizado na Figura A3.4. As vazões de estiagem e as enchentes de menor porte, as chamadas enchentes ordinárias, escoam confinadas na calha menor, que é apropriada e naturalmente moldada para essa função. Quando ocorre uma enchente excepcional, de maior porte, ocorre o transbordamento para a planície de inundação, com as vazões ocupando assim os terrenos adjacentes à calha menor.

A enchente ordinária que preenche totalmente e modela a calha menor é chamada de vazão dominante ou vazão de margens plenas. Como característica da morfologia fluvial da quase totalidade dos cursos de água, a vazão dominante é representada pelas enchentes cujos picos têm período de retorno entre 2 e 5 anos, indicando probabilidades de ocorrência variando entre 50% e 20% em um ano qualquer.

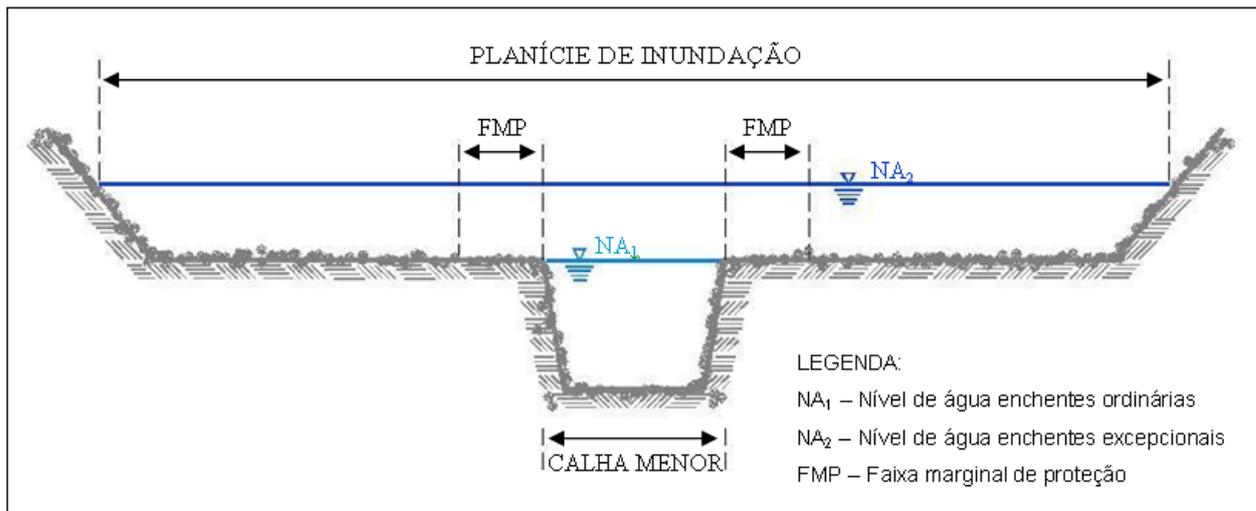


Figura A3.4 – Características da morfologia fluvial dos cursos de água.

A modelação da calha menor para escoar as enchentes ordinárias não ocorre necessariamente nos cursos de água localizados na Zona de Deposição, onde predomina a ação do controle hidráulico de jusante. Assim, pode acontecer de uma enchente ordinária transbordar para a planície de inundação, sob o efeito de remanso do rio de jusante ou da influência das marés.

Qualquer que seja a posição relativa dos rios que escoam pelas planícies aluviais, ao longo das margens forma-se uma linha de diques naturais, conferindo um contorno peculiar à geometria da calha menor. Essa linha de cotas mais elevadas em relação aos terrenos da planície de inundação é denominada diques marginais, que é quebrada somente nas seções onde entram os cursos de água afluentes ou os canais de ligação com as lagoas adjacentes.

Em qualquer intervenção antrópica ou alteração natural que possa modificar uma das quatro variáveis da equação de equilíbrio de Lane, instala-se uma nova condição morfodinâmica, aonde as outras variáveis irão se alterar de maneira a se restabelecer o equilíbrio.

Assim, caso seja instalado um barramento em uma seção de um rio, os níveis de água irão se elevar, reduzindo a declividade do escoamento. Alterado o equilíbrio, deverá haver deposição de sedimentos a montante de maneira a se restabelecer a declividade original. Em contrapartida, a jusante do barramento, devido à redução do volume de sedimento disponível para ser transportado, deverá se estabelecer um cenário de erosão do leito, formando um leito mais sinuoso do que o original (Chang, 1979).

Em outra situação, uma significativa redução da vazão de um curso de água, juntamente com o material sólido presente no escoamento, também poderá resultar na redução da declividade do escoamento exigindo que haja deposição no trecho afetado de maneira a restabelecer a declividade original.

As relações acima descritas são explicadas por Shumm (1969) através das seguintes relações qualitativas:

Aumento da vazão:

$$\uparrow Q \sim \uparrow B \uparrow D \uparrow F \uparrow \lambda \downarrow S$$

Redução da vazão:

$$\downarrow Q \sim \downarrow B \downarrow D \downarrow F \downarrow \lambda \uparrow S$$

Aumento na descarga sólida:

$$\uparrow Q_s \sim \uparrow B \downarrow D \uparrow F \uparrow \lambda \uparrow S \downarrow P$$

Redução na descarga sólida:

$$\downarrow Q_s \sim \downarrow B \uparrow D \downarrow F \downarrow \lambda \downarrow S \uparrow P$$

Vazão e descarga sólida aumentam (exemplo: durante um processo de urbanização):

$$\uparrow Q \uparrow Q_s \sim \uparrow B \uparrow \downarrow D \uparrow F \uparrow \lambda \uparrow \downarrow S \downarrow P$$

Vazão e descarga sólida reduzem (exemplo: a jusante de uma barragem):

$$\downarrow Q \downarrow Q_s \sim \downarrow B \uparrow \downarrow D \downarrow F \downarrow \lambda \uparrow \downarrow S \uparrow P$$

Vazão aumenta e descarga sólida reduz (exemplo: aumento da umidade em uma zona antes pouco úmida):

$$\uparrow Q \downarrow Q_s \sim \uparrow \downarrow B \uparrow D \downarrow F \uparrow \downarrow \lambda \downarrow S \uparrow P$$

Vazão reduz e descarga sólida aumenta (exemplo: aumento no consumo de água combinado com aumento da ocupação da bacia):

$$\downarrow Q \uparrow Q_s \sim \uparrow \downarrow B \downarrow D \uparrow F \uparrow \downarrow \lambda \uparrow S \downarrow P$$

As variáveis que figuram nas equações acima são definidas como: Q – descarga líquida; Q_s – descarga sólida; B – largura da calha; D – profundidade; F – raio hidráulico; λ – comprimento de onda dos meandros; S – declividade; P – sinuosidade.

No esquema da Figura A3.1, a Zona de Deposição apresenta-se como um cone de dejeção, com tendência de formação de depósitos. Para os cursos de água com foz diretamente nos mares e oceanos, os depósitos ocorrem em forma de leque (delta), normalmente representando formações recentes, do período Quaternário. Os canais fluviais que entalham na área do delta apresentam elevada dinâmica morfogenética, passando por alterações e desvios em curtos intervalos de tempo, dependendo de pulsos naturais ou de modificações induzidas pela ocupação antrópica. No trecho final do delta, de contato dos depósitos de sedimentos com a linha de praia, tem-se uma maior dinâmica nas formas do entalhe fluvial, com o controle dependendo da ação conjugada da vazão afluente, da descarga sólida, dos ventos e ondas.

A relação de Lane aplica-se essencialmente para rios em leitos aluviais e em equilíbrio morfodinâmico. Esse equilíbrio é entendido como aquele no qual a geometria da calha (seção transversal) não se altera por fenômenos de erosão e deposição, visto que o curso de água atingiu uma condição de capacidade de transportar toda a carga de sedimentos gerada na bacia hidrográfica.

Retornando ao tema da construção de uma barragem, a condição de equilíbrio pode ser alterada pelo remanso induzido no reservatório. A tendência inicial é a de retenção dos sedimentos, principalmente na faixa de granulometria mais grossa, formando depósitos de assoreamento que avançam de forma progressiva das cabeceiras do reservatório em direção ao corpo da barragem. O assoreamento progride até um determinado limite de estabilidade da calha, antes de estabelecer uma nova condição de equilíbrio, pela equalização das entradas e saídas de sedimentos (Figura A3.5).

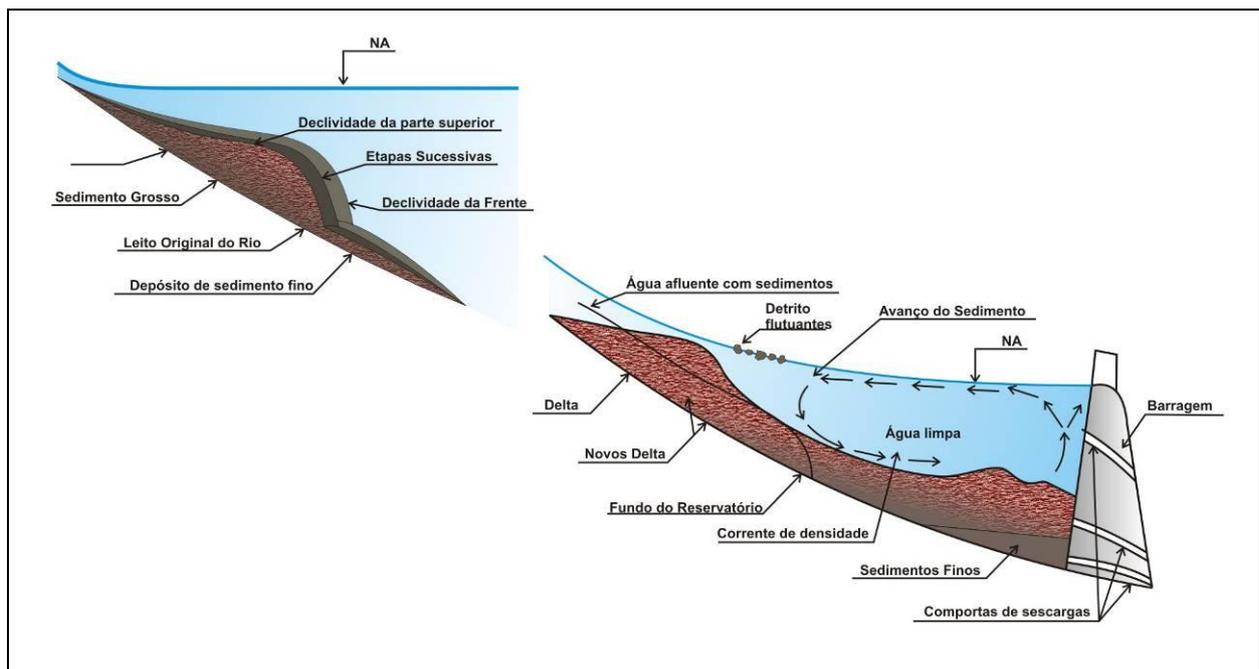


Figura A3.5 – Representação esquemática do processo de assoreamento de reservatórios.

O tempo gasto para a retomada da condição de equilíbrio depende do tamanho do reservatório. A magnitude do reservatório pode ser medida pela relação entre o volume total acumulado e o volume médio anual de vazão líquida escoado pelo curso de água. Essa relação fornece um indicador denominado **eficiência de retenção** do reservatório, que pode ser calculado com base em gráficos como o da Figura A3.6. Um reservatório pode ser classificado como de pequeno porte se apresentar baixa eficiência de retenção. Uma característica dos pequenos reservatórios é a redução acentuada da eficiência de retenção no início da operação, com tendência rápida para o ponto zero em função da perda de volume pelo assoreamento do volume morto.

Em qualquer tipo de reservatório, mesmo aqueles de pequeno porte, há uma tendência inicial de retenção de toda a fração da descarga sólida de arraste (material mais grosso do leito). O alcance da condição de equilíbrio e a estabilização dos depósitos junto ao paramento da barragem dependerão das estruturas hidráulicas de extravasamento, nas formas dos arranjos das comportas e descarregadores de fundo.

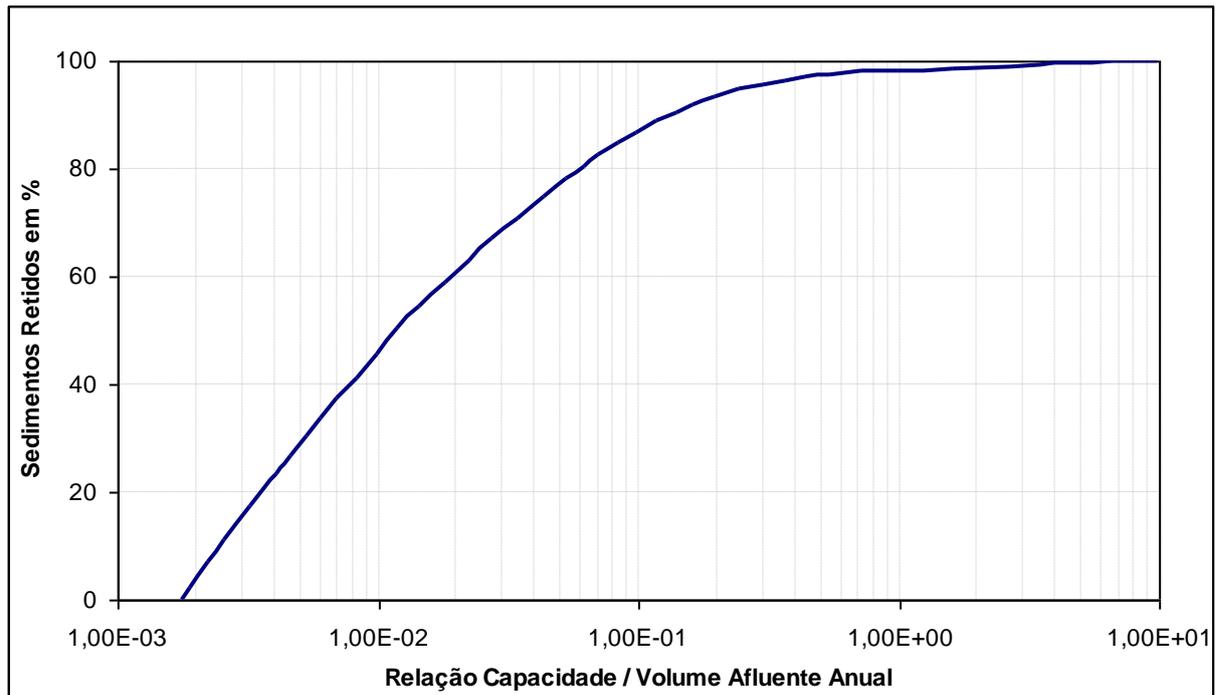


Figura A3.6 – Curva de eficiência de retenção de sedimentos em reservatórios.

A4. CARACTERIZAÇÃO DA BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL

Nesse Item é apresentado o **Diagnóstico Sedimentológico** da bacia do rio Paraíba do Sul, caracterizando as condições atuais de geração de sedimentos e de transporte na calha principal, em conexão à gênese do delta, junto à foz no oceano Atlântico. Precedendo o prognóstico, são descritos os elementos subsidiários relativos à rede hidrográfica, às obras hidráulicas implantadas na bacia e aos estudos hidrossedimentológicos clássicos que foram elaborados.

A4.1. REDE HIDROGRÁFICA

A bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul desenvolve-se sobre os territórios de 3 estados da Região Sudeste do Brasil, com 55.400 km² de área de drenagem total (Figura A4.1), subdivididos, por ordem de importância, entre Rio de Janeiro no quadrante SE a E (21.000 km²), Minas Gerais no quadrante N a NW (20.900 km²) e São Paulo no quadrante W a SW (13.500 km²). Sua nascente é situada a, aproximadamente, 1800 m de altitude, na serra da Bocaina, no estado de São Paulo, enquanto sua desembocadura encontra-se no município de São João da Barra, norte fluminense.

A bacia se alonga na direção WSW-ENE, entre as escarpas e vertentes das duas serras mais imponentes da Região Sudeste: a serra do Mar, ao sul, e a serra da Mantiqueira, ao norte. Esta última abriga o ponto culminante na bacia: o Pico das Agulhas Negras, no Maciço do Itatiaia, com 2787 m de altitude.

O curso principal do rio Paraíba do Sul se forma a partir da confluência dos rios Paraitinga e Paraibuna, no estado de São Paulo, desenvolvendo-se, na seqüência, numa extensão longitudinal de 1120 km. As principais sub-bacias são: afluentes da margem esquerda (rios Paraibuna, Pomba e Muriaé), afluentes da margem direita (rios Dois Rios, Piabanha e Grande), além de sub-bacias menores que contribuem para as porções médias e altas do curso principal.

A Tabela A4.1 apresenta algumas características físicas e hidrológicas dessas bacias, as quais podem ser vistas pelas suas delimitações na Figura A4.1. Na Figura A4.2 está mostrado o perfil longitudinal do rio Paraíba do Sul, indicando a posição dos principais reservatórios, cidades e estações sedimentométricas. Nessa figura também se encontram indicados os trechos que se identificam com a morfogênese dos sedimentos (Figura A3.1), delimitados em conformidade com as quebras de relevo do perfil longitudinal, referenciados somente em função do curso de água principal. Como essa caracterização pode ser estendida para qualquer afluente, têm-se aportes de sedimentos em qualquer trecho do rio, em todas as confluências.

Considerou-se como Zona de Produção o trecho superior da bacia, até o eixo da UHE Funil, considerando que a Zona de Transporte compreende todo o estirão de jusante, até a altura da cidade de São Fidélis, onde ocorre a última soleira rochosa de controle geológico estrutural na bacia e iniciam os depósitos do Quaternário, na Zona de Deposição.

No contexto da rede hidrográfica, observa-se nos dados da Tabela A4.1 que as bacias dos rios Paraibuna, Pomba e Muriaé abrangem quase 50% da totalidade da área de drenagem da bacia do rio Paraíba do Sul, tendo assim papel relevante na geração de descargas sólidas.

Em termos de uso e ocupação do solo, fatores condicionantes da produção de sedimentos, a bacia vem experimentando uma alteração crescente na sua cobertura original, desde o auge do Ciclo do Café, na primeira metade do Século XIX. A partir de 1880, houve a implantação e uma grande expansão da malha ferroviária, principalmente na Zona da Mata Mineira (cabeceiras dos rios Pomba e Muriaé), quando se intensificou o processo de desmatamento para gerar o combustível das locomotivas. Nas últimas décadas, a bacia passou por um notável crescimento industrial, acompanhado por uma intensa expansão demográfica.

A qualidade dos recursos hídricos da bacia encontra-se fortemente alterada por poluições de origem doméstica, industrial e agropecuária, bem como por sobrecarga sedimentar devido à intensa erosão instalada em partes de suas sub-bacias afluentes, caso mais evidente nas áreas mais intensamente desmatadas das sub-bacias mineiras dos rios Pomba e Muriaé.

No trecho fluminense da bacia, da mesma forma, são efluentes de esgotos sanitários e despejos industriais a avolumar a carga poluente e chegar diretamente aos cursos de água. Agrava-se o problema, ainda, com a contribuição dos lixões, do desmatamento nas áreas de cabeceiras e a conseqüente erosão, a extração de recursos minerais em áreas de empréstimo, para a construção civil.

Tabela A4.1 - Características dos principais afluentes do rio Paraíba do Sul.

Sub-Bacia	Área de Drenagem (km ²)	Percentual da Área de Drenagem Total (%)	Q _{MLT} (m ³ /s)
Foz do rio Piabanha	2065	3,6	35,0
Foz do rio Grande	3169	5,6	38,9
Foz do rio Muriaé	8162	14,4	128
Foz do rio Paraibuna	8558	15,1	184
Foz do rio Pomba	8616	15,2	135
Foz do rio Paraíba do Sul	56.600	100,0	753

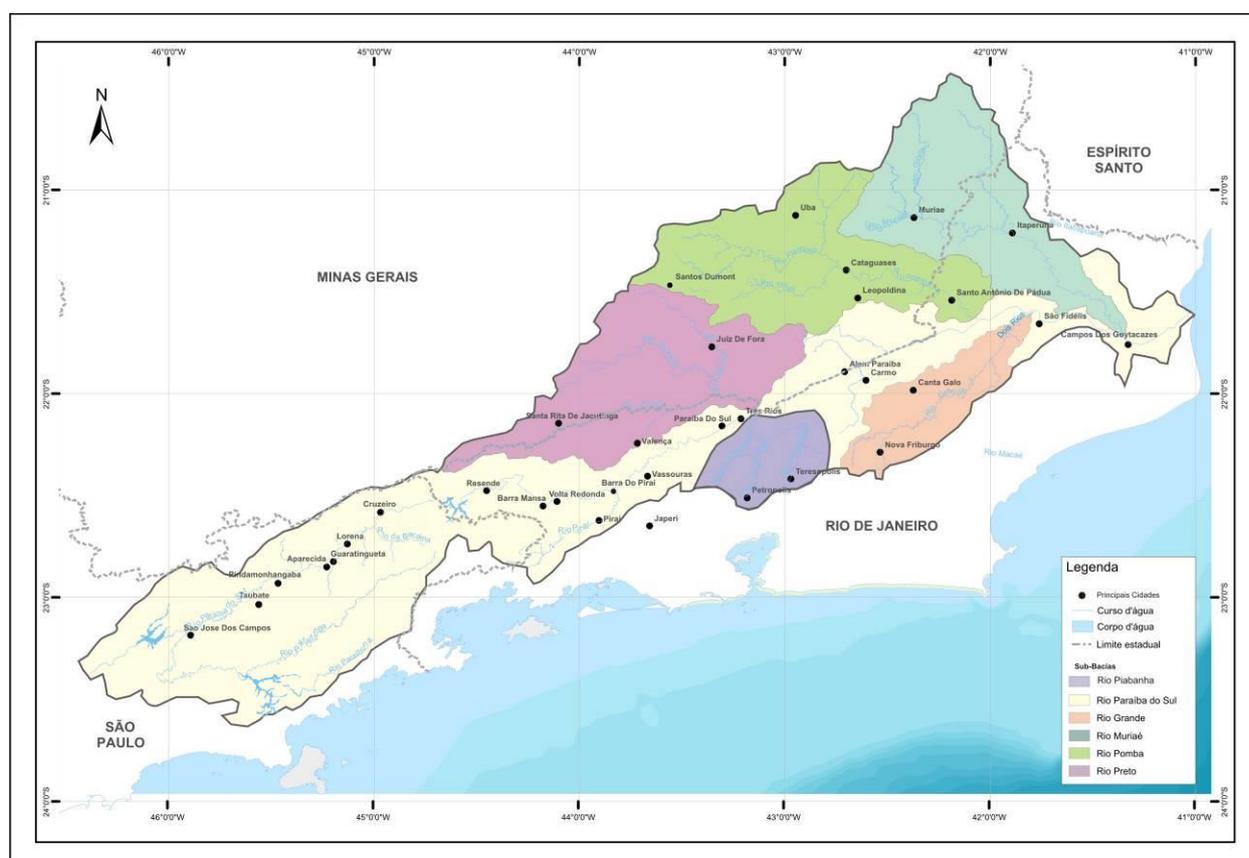


Figura A4.1 - Divisão das principais sub-bacias formadoras do rio Paraíba do Sul.

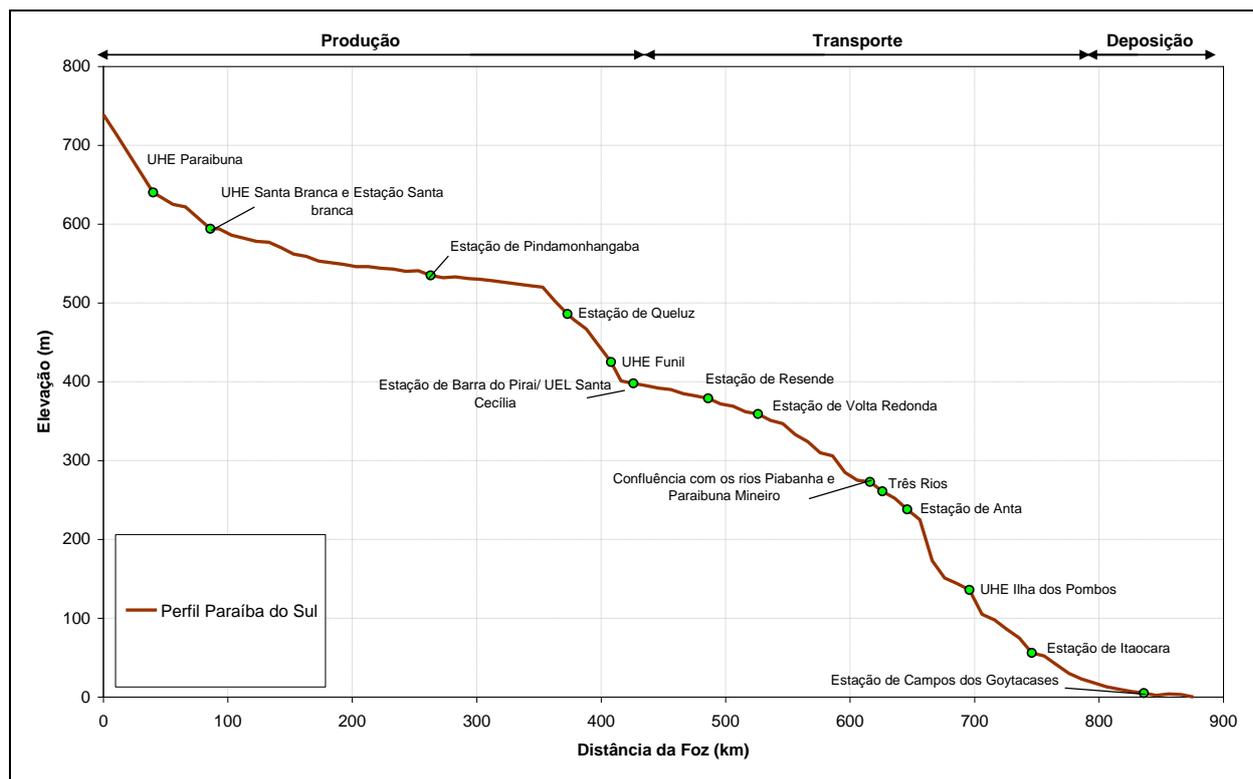


Figura A4.2 - Perfil longitudinal do rio Paraíba do Sul.

A4.2. EMPREENDIMENTOS HIDRÁULICOS

A bacia do rio Paraíba do Sul possui diversas obras hidráulicas que modificam **(i)** sua dinâmica de regime hidrológico (regularização de vazões de estiagem e derivações com transposição de bacias), **(ii)** o transporte de sedimentos (retenção em reservatórios) e a **(iii)** dinâmica de migração do leito fluvial (retificações e estabilização de margens). Todas essas obras interferem, em algum grau, nas condições de equilíbrio morfodinâmico, principalmente nos aspectos relacionados ao regime sedimentológico. A localização das principais obras hidráulicas está mostrada na Figura A4.3.

Tabela A4.2 - Características das principais intervenções hidráulicas da bacia do Paraíba do Sul.

Nome	Curso de água	Área de Drenagem	Volume do Reservatório
		km ²	hm ³
Barragem Chapéu D'Uvas	Rio Paraibuna	309	153
PCH Homero Junqueira	Rio Glória	1040	2,6
UHE Glória	Rio Glória	1120	0,01
PHC Ivan Botelho I	Rio Pomba	1771	17,0
PCH Ivan Botelho II	Rio Pomba	1796	5,2
PCH Ivan Botelho III	Rio Pomba	2318	19,3
UHE Barra do Braúna	Rio Pomba	7180	33,7
PCH Ituerê	Rio Pomba	787	0,30
UHE Areal	Rio Preto	510	10,0
UHE Jaguari	Rio Parateí	1340	1396
UHE Maurício	Rio Novo	1745	22,0
UHE Ilha dos Pombos	Rio Paraíba do Sul	32.516	9,0
UHE Funil	Rio Paraíba do Sul	13.410	890
UHE Santa Branca	Rio Paraíba do Sul	5030	434
UHE Paraibuna	Rio Paraibuna (Paulista)	4000	2463
Estação de Santa Cecília	Rio Paraíba do Sul	16.947	4,4

A vazão média bombeada na Estação Elevatória de Santa Cecília é de 149 m³/s, totalizando 66% da vazão média de longo termo do rio Paraíba do Sul naquela seção e cerca de 20% da vazão média gerada em toda a bacia. Em termos qualitativos, a combinação dessa derivação com a retenção de sedimentos nos reservatórios pode até resultar em um balanço de equilíbrio, embora exista a possibilidade de ocorrerem alterações na geometria da calha fluvial. Além disso, pode-se estimar, através da vazão média e concentração média de sedimentos em suspensão, que a Estação Elevatória de Santa Cecília retire do rio Paraíba do Sul, anualmente, cerca de 680.000 toneladas de sedimento em suspensão, intensificando a supressão de sedimento imposta pelos reservatórios presentes na bacia.

No trecho do rio Paraíba do Sul inserido na Zona de Transporte de sedimentos, chama a atenção o fato de não haver indícios de assoreamento nas cabeceiras do reservatório da UHE Ilha dos Pombos, nas proximidades da cidade de Além Paraíba. Essa característica pode estar associada com a reduzida descarga sólida no trecho, em consequência das retenções nos reservatórios de montante.

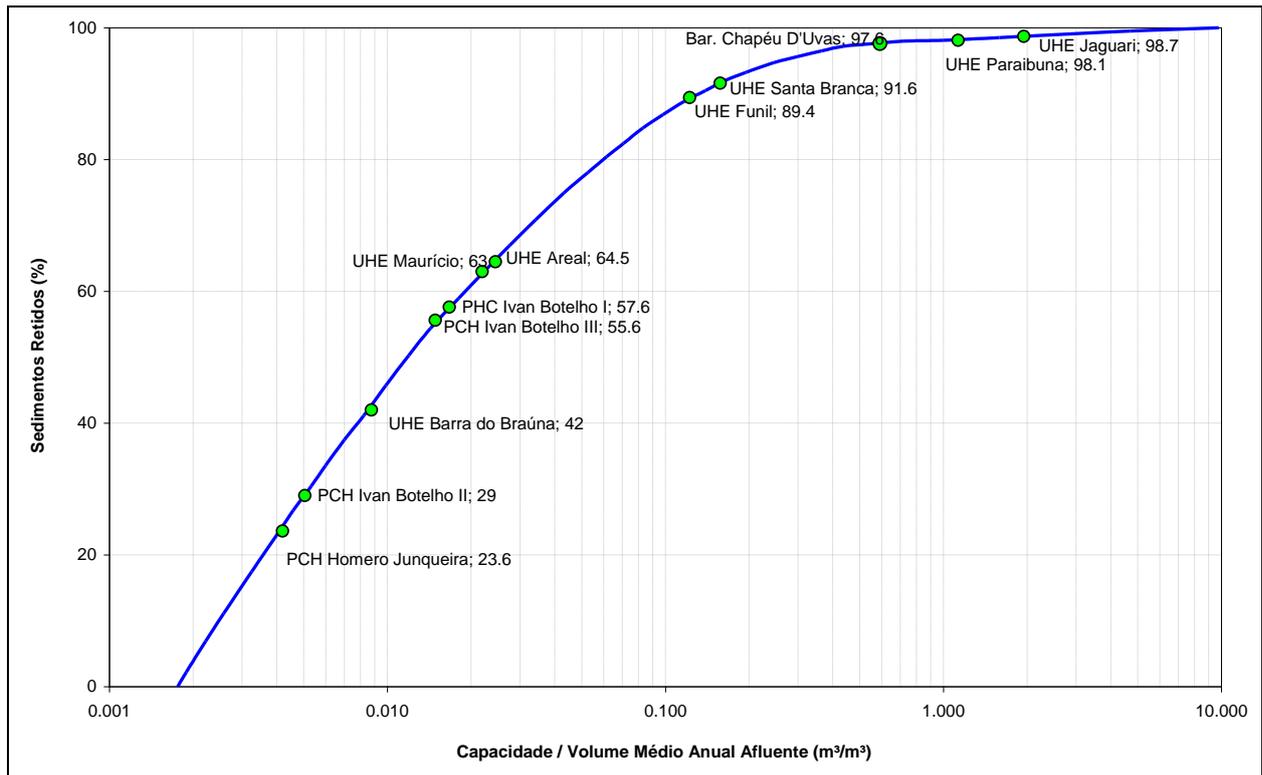


Figura A4.4 - Eficiência de retenção de sedimentos dos principais reservatórios da bacia do rio Paraíba do Sul.

Conforme destacado na Figura A4.3, foram implantadas várias obras de retificação do canal fluvial do rio Paraíba do Sul, no trecho paulista a montante da UHE Funil (Figura A4.5). Essas obras não interferem no regime hidrossedimentológico do rio, na escala da análise feita nesse estudo. Já as obras dos diques de proteção contra cheias, na altura da cidade de Campos dos Goitacazes, podem ter algum impacto na morfologia do delta, na medida que direciona o fluxo diretamente para NE, impedindo a deriva natural que ocorre nas desembocaduras dos deltas (Figura A4.6).

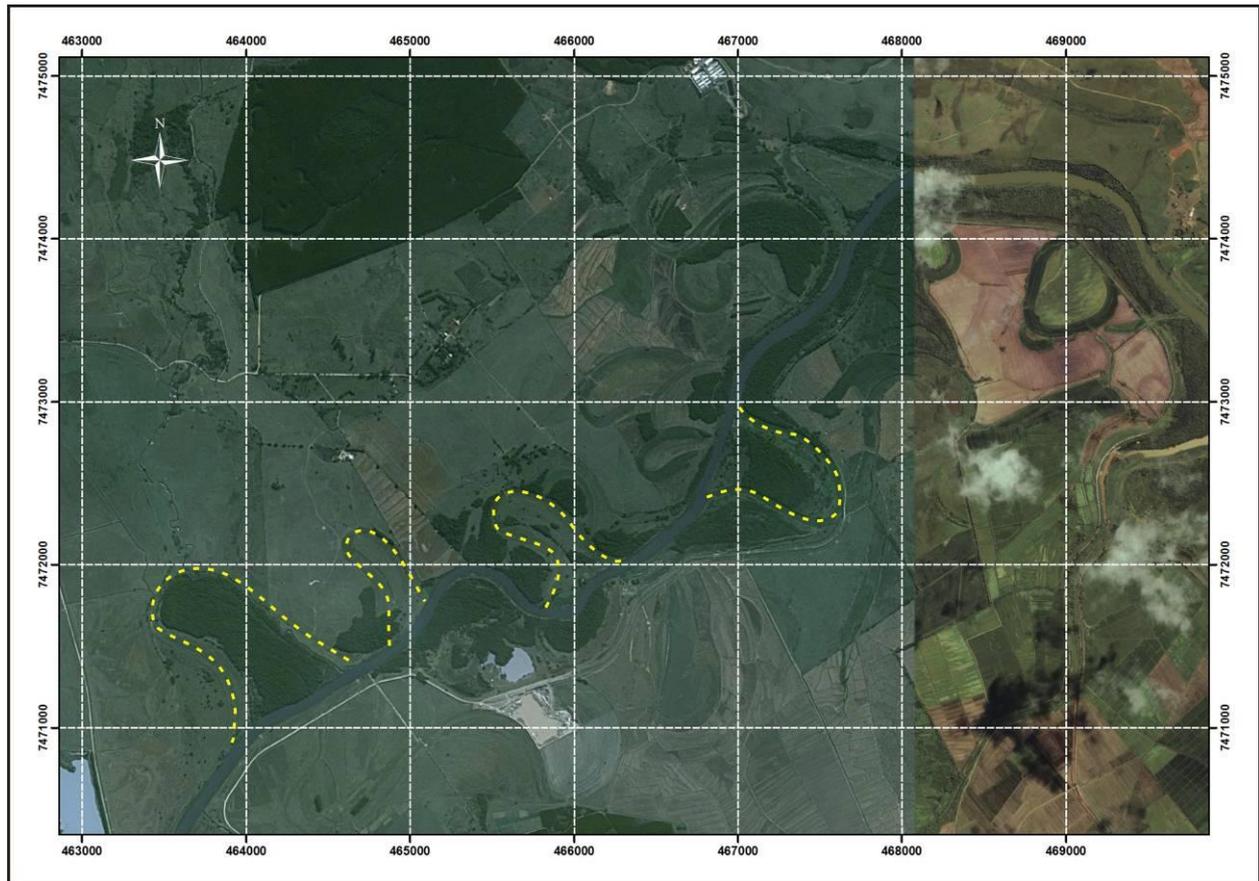


Figura A4.5 – Identificação dos meandros cortados devido à obra de retificação do leito do rio Paraíba do Sul, na altura da cidade de Roseira-SP.

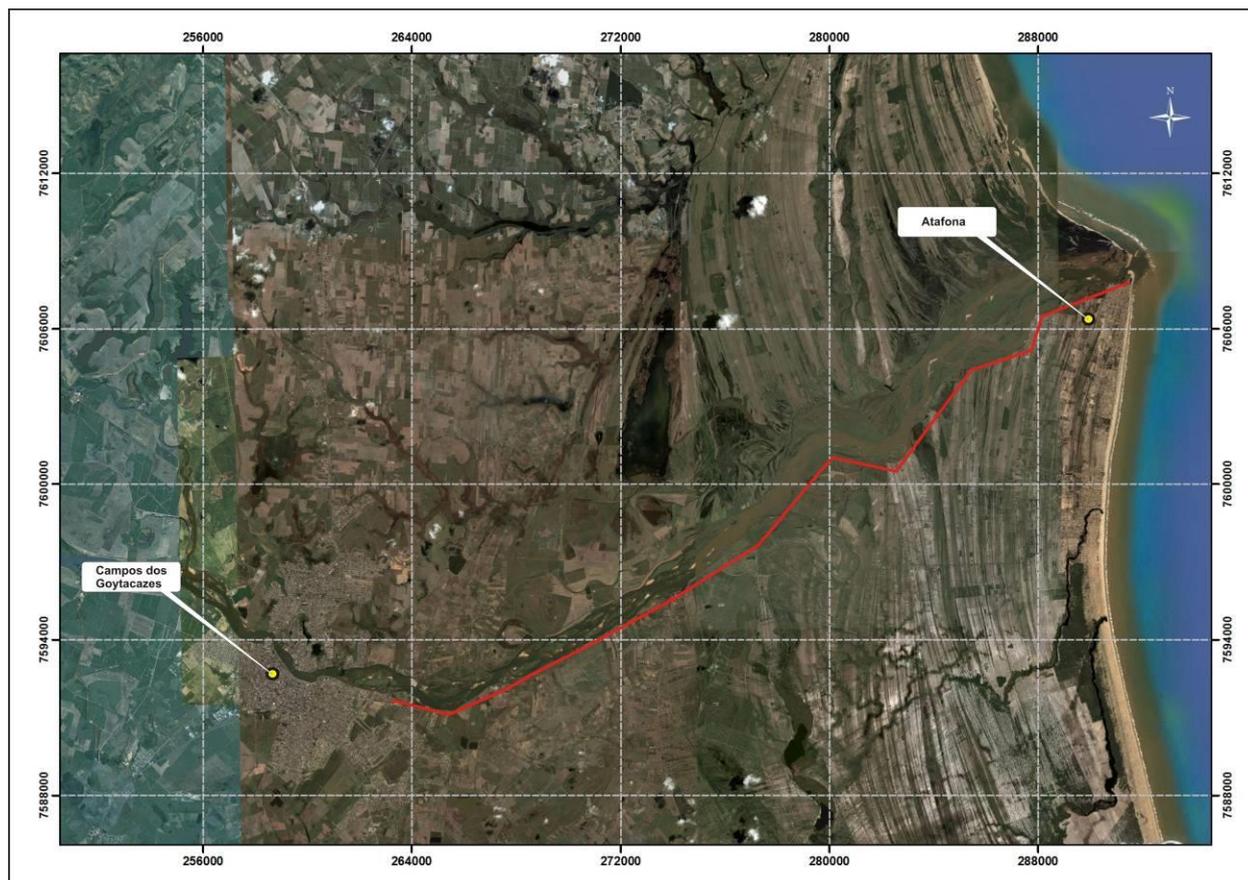


Figura A4.6 – Localização da linha de diques de contenção de cheias na região do delta do rio Paraíba do Sul.

A4.3. GEOMORFOLOGIA FLUVIAL

A análise feita no presente Item tem a finalidade de caracterizar a gênese dos sedimentos e da capacidade de transporte ao longo de diversos trechos da bacia do rio Paraíba do Sul, sob a ótica da geologia e geomorfologia. Nos Itens seqüentes serão abordados os aspectos específicos da região do estuário e da hidrossedimentologia clássica, que associa dados quantitativos ao transporte sólido na bacia.

A4.3.1. ASPECTOS GEOLÓGICOS E GEOMORFOLÓGICOS GERAIS

A bacia do rio Paraíba do Sul é situada, do ponto de vista geológico, no Cinturão Atlântico, constituído por zonas de cisalhamento brasileiras intrudidas por corpos magmáticos cretácicos e cenozóicos, que acompanharam os movimentos tectônicos tardios resultantes da abertura do Oceano Atlântico.

O mapa da Figura A4.7 mostra uma bacia constituída, predominantemente, por faixas WSW-ENE de rochas ígneo-metamórficas e ígneas, principalmente graníticas. As rochas intrusivas tardias encontram-se sob forma de pequenos corpos alinhados NW-SE ou ainda ao longo da borda sul da serra da Mantiqueira (maciços do Itatiaia e Passa Quatro). Em meio ao eixo central da bacia encontram-se áreas alveolares preenchidas por sedimentos cenozóicos, nas bacias de Taubaté, Resende e Volta Redonda, principalmente.

O relevo da bacia é, de modo geral, de caráter montanhoso, pois é composto, em sua maior parte, de geofomas pertencentes a dois maciços montanhosos dos mais altos da Região Sudeste do Brasil. As serras do Mar, ao sul, e da Mantiqueira, ao norte, atingem, frequentemente, altitudes superiores a 2000 metros e encerram, entre ambas, um vale estreito sob forma de corredor onde o rio Paraíba do Sul estica seu curso em altitudes situadas até 1500 metros mais baixo.

Esta configuração é o resultado, principalmente, de um rifteamento (abortado?) ocorrido no início do período terciário (aproximadamente 65 milhões de anos). Provavelmente como reflexo de intumescimento crustal surgido em consequência da abertura do Oceano Atlântico, ao final do período cretácico, intrusões magmáticas soergueram a crosta sob a forma de forte elevação convexa que, mais tarde, daria origem aos maciços montanhosos do Itatiaia e Passa Quatro. O conjunto da região, situada em torno desta elevação, acompanhou o movimento ascendente que resultou num grande abaulamento topográfico, mas cuja parte central sofreu abatimento tectônico, do qual resultou o corredor abrigando o eixo principal do rio Paraíba do Sul. Neste corredor, encontram-se depressões alargadas, hoje ligeiramente afirmadas, onde se alojam as áreas de Taubaté, Resende e Volta Redonda. Essas depressões resultam de controle tectônico terciário e, provavelmente, ainda ativo.

Deste modo, geraram-se as condições iniciais para a gênese da bacia hidrográfica que, ainda, incorporaram, por processo de captura, uma das antigas cabeceiras do rio Tietê, que escoava em direção a NW, inserindo-a na bacia, constituindo a atual cabeceira da bacia, representada pelos rios Paraitinga-Paraibuna-SP.

Este processo geológico, tardio na escala geológica, explica as grandes linhas da organização atual da bacia hidrográfica e deve ainda influenciar sua segmentação hidrodinâmica e seu comportamento morfodinâmico.

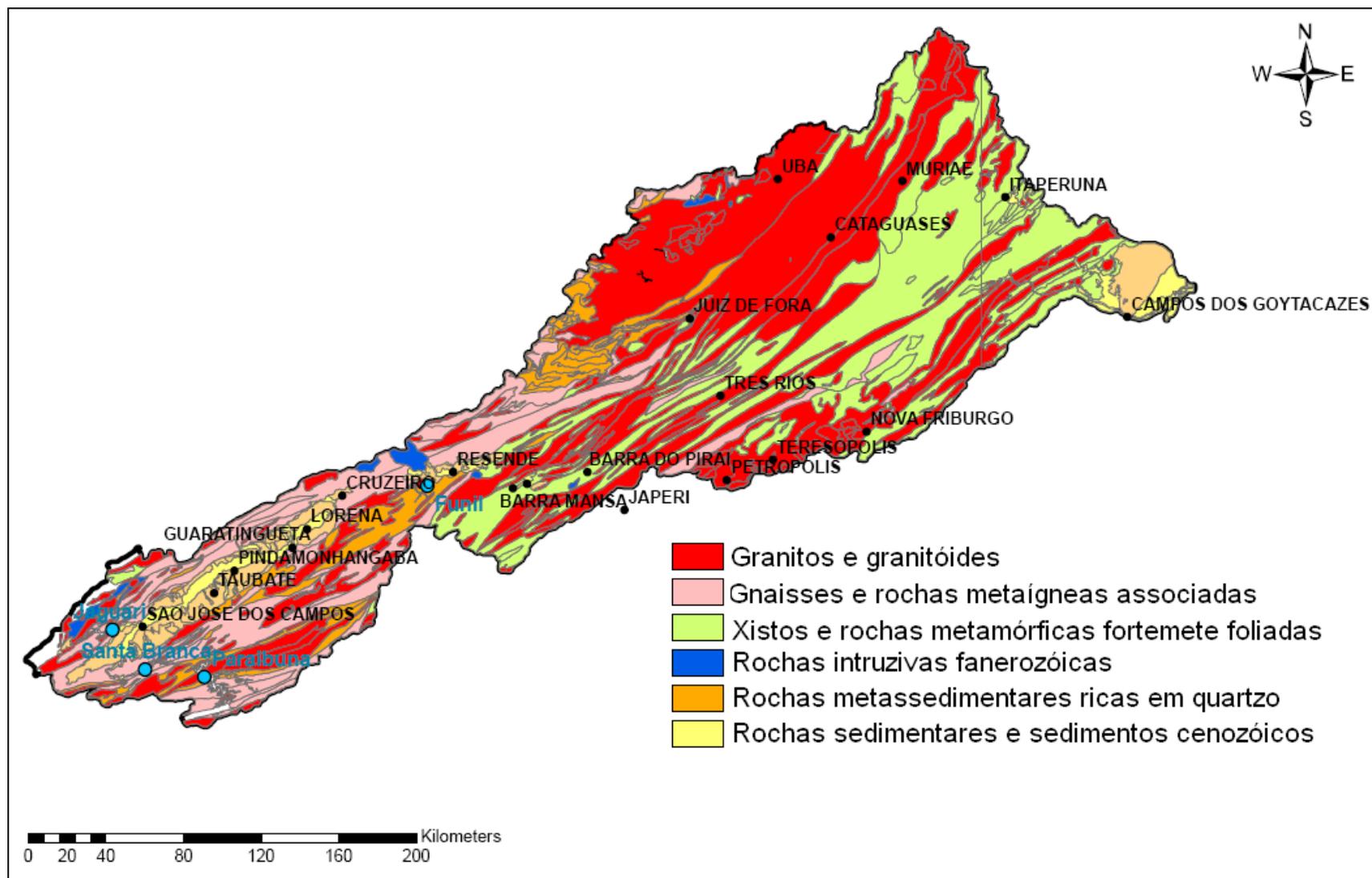


Figura A4.7 – Mapa geológico da bacia do rio Paraíba do Sul.

A4.3.2. POTENCIAL EROSIVO DA BACIA

A qualificação do relevo nas classes que seguem (Muito Fraco, Fraco, Moderado, Forte, Muito Forte e Extremamente Forte) procura expressar sua energia global, com base na associação de dois critérios morfológicos e semi-quantitativos: o grau de dissecação que caracteriza a amplitude de relevo através do aprofundamento das calhas de drenagem com relação aos topos, e a densidade de drenagem que representa a relação entre a quantidade de canais por unidade de superfície.

Esta qualificação, enquanto abordagem preliminar do potencial erosivo e, conseqüentemente, gerador de sedimentos das diversas partes da bacia hidrográfica, foi montada com base em interpretação das informações reunidas nos trabalhos do Projeto Radam Brasil (1983).

RELEVO FRACO

Formas de relevo: Relevo composto por colinas com encostas convexas e topos arredondados ou tabulares com aprofundamento da drenagem entre 44 m e 92 m e declividades variando entre 5° e 24°. As colinas alternam com alvéolos fluviais e são cobertas por formações superficiais argilosas e areno-argilosas.

Comportamento morfodinâmico: A densidade de drenagem fina caracteriza um equilíbrio entre processos erosivos e pedogenéticos, a muito fina indica um potencial de maior concentração dos processos erosivos (principalmente em áreas de culturas cíclicas e criação extensiva em pastagens naturais) formando sulcos, ravinas e voçorocas.

Sub-bacias envolvidas: Um conjunto de sub-bacias com densidade de drenagem Muito Fina: rio do Pinho, rio Grão-Mongol, rio Paraopeba, rio Xopotó, rio Gavião, ribeirão dos Monos, médio curso do rio Pomba. Um conjunto de sub-bacias com densidade de drenagem Extremamente Fina: rio Jacuí/rio Paraitinga, rio Lourenço Velho /Paraibuna, rio Itagaçaba, trecho do eixo central entre Funil e Santa Cecília, rio Barreiro de Baixo, rio do Bananal, rio Piraí, rio Piabanha e ribeirão das Aréias.

RELEVO MODERADO

Formas de relevo: Relevo gerado por processos de dissecação controlados pela estrutura, portanto orientados pela mesma, apresentando-se sob a forma de cristas assimétricas e escarpas que - na base - se fundem com rampas de colúvio, além de "mares de morros" e colinas convexas. O aprofundamento da drenagem atinge valores entre 98 m e 155 m, em meio a encostas inclinadas entre 11° e 24° e cobertas por formações superficiais espessas, de textura areno-argilosa.

Comportamento morfodinâmico: Dominam processos de desagregação mecânica, escoamento difuso, movimentos de massa e escoamento superficial gerando ravinas. Estes se acentuam quando as encostas íngremes são ocupadas por pastagens. Por outro lado, a cobertura coluvial espessa e com textura argilosa e areno-argilosa contribui fortemente para o avanço dos processos erosivos.

Sub-bacias envolvidas: Um conjunto de bacias caracterizadas por densidade de drenagem Muito fina, o que constitui fator de manutenção e acentuação dos processos de erosão por ravinamento: rio São Fernando, rio Bonito, rio das Flores, rio Angu, rio Pirapetinga, trecho do eixo central entre Três Rios e Itaocara.

RELEVO FORTE

Formas de relevo: Relevo constituído por conjunto de serras alongadas, escarpas e esporões proeminentes, onde o aprofundamento da drenagem atinge 158 m a 201 m, em meio a encostas com declividades variando entre 24° e 37°, e cobertas por formações superficiais pouco espessas, de textura argilosa e areno-argilosa.

Comportamento morfodinâmico: Existem condições propícias a processos erosivos intensos, incluindo movimentos de massa expressos por deslizamentos e rastejos. Este forte grau de instabilidade é, também, o resultado de uma intensa desagregação mecânica que dá origem à formação de talus de blocos no sopé das encostas. Por outro lado, as condições favoráveis ao escoamento superficial difuso, bem como concentrado, aceleram os movimentos de massa nas encostas onde a cobertura vegetal foi retirada.

Sub-bacias envolvidas: Conjunto de sub-bacias com densidade de drenagem Muito Fina: sub-bacias Paraitinga/Paraibuna SP, Peixe (Jaguari SP), Peixe (Paraibuna MG), divisores do trecho médio Pomba/Muriaé e curso final dos rios Grande e Dois Rios. Conjunto de sub-bacias com densidade de drenagem Fina: rio Carangola e alto curso do rio Pomba, tais como ribeirão Lontra e rio Formoso.

RELEVO MUITO FORTE

Formas de relevo: Dominam formas de relevo estruturais representadas por cristas de topos aguçados, “pães-de-açúcar”, morros e escarpas subparalelas e patamares escalonados, com aprofundamento da drenagem situada entre 212 m e 312 m. As encostas rochosas nas partes altas e cobertas por formações superficiais argilosas, em suas partes baixas, apresentam declividades que atingem 24° a 37°.

Comportamento morfodinâmico: Os processos de escoamento difuso e concentrado encontram situação favorável à gênese de ravinas, assim como diversos tipos de movimentos de massa, ocorrendo, freqüentemente desmoronamentos de blocos rochosos e escorregamentos de terra, agravados principalmente nos períodos de maior concentração de chuvas.

Sub-bacias envolvidas: Conjunto de sub-bacias com densidade de drenagem Muito Fina: rio Macuco, e alto curso dos rios Negro e Grande.

RELEVO EXTREMAMENTE FORTE

Formas de relevo: As formas de relevo são fortemente controladas pelas características estruturais, expressando feições de escarpas íngremes, cristas e esporões. As declividades

das encostas, que raramente apresentam notáveis espessuras de formações superficiais com textura argilosa e areno-argilosa, superam 37° e a drenagem se encaixa em profundidades de 344 m a 446 m.

Comportamento morfodinâmico: Com as fortes declividades, os movimentos de massa encontram um meio favorável e ocorrem constantemente, por processos de deslizamentos e quedas de blocos, mesmo com a presença da cobertura vegetal.

Sub-bacias envolvidas: Conjunto de sub-bacias com densidade de drenagem Muito Fina: rio Passa Vinte, e trechos paulistas do eixo central até Funil e de Funil até Santa Cecília. Conjunto de sub-bacias com densidade de drenagem Fina: alto curso dos rios Barreiro de Baixo, do Bananal e Pirai.

RELEVO EXTREMAMENTE FORTE (densidade de drenagem Muito Fina) graduando para **RELEVO MUITO FORTE** (densidade de drenagem Fina)

Formas de relevo: As formas de relevo apresentam notável controle estrutural e são representadas por “pães-de-açúcar”, cristas, escarpas íngremes e subparalelas e patamares escalonados. As declividades das encostas, que não apresentam boas espessuras de formações superficiais com textura argilosa a areno-argilosa, atingem 24° a 37° e a drenagem se encaixa em profundidades de 212 m a 446 m.

Comportamento morfodinâmico: Os processos de escoamento difuso e concentrado encontram situação favorável ao desenvolvimento de ravinas, assim como diversos tipos de movimentos de massa, tais como deslizamentos, desmoronamentos e quedas de blocos rochosos e escorregamentos de terra, agravados principalmente nos períodos de maior concentração de chuvas.

Sub-bacias envolvidas: Conjunto de sub-bacias dos rios Paquequer, Preto e Piabanha.

A4.3.3. DINÂMICA DA PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS

Em complemento às informações regionais citadas nos itens anteriores, este Item objetiva detalhar as causas e modalidades da produção e transferência dos sedimentos ao longo da bacia hidrográfica. Ênfase especial é dada ao potencial de produção de areias como insumo básico das cargas de fundo dos sistemas hidroerosivos. Para facilitar o entendimento do texto descritivo, foram montadas as figuras listadas abaixo, servindo para ilustrar a compartimentação espacial adotada, bem como os parâmetros observados que serviram a esta finalidade:

- ❑ Figura A4.8: perfil longitudinal ao longo do curso principal do rio Paraíba do Sul;
- ❑ Figura A4.9: esboço hipsométrico da bacia, sem escala de altitude real, elaborada com base em cartografia com equidistância de 100 m entre curvas de nível;
- ❑ Figura A4.10: mapa litológico da bacia com ênfase no potencial de produção de areias;
- ❑ Figura A4.11: mapa morfoestrutural, com localização das soleiras, bacias sedimentares e compartimentação estrutural da bacia.

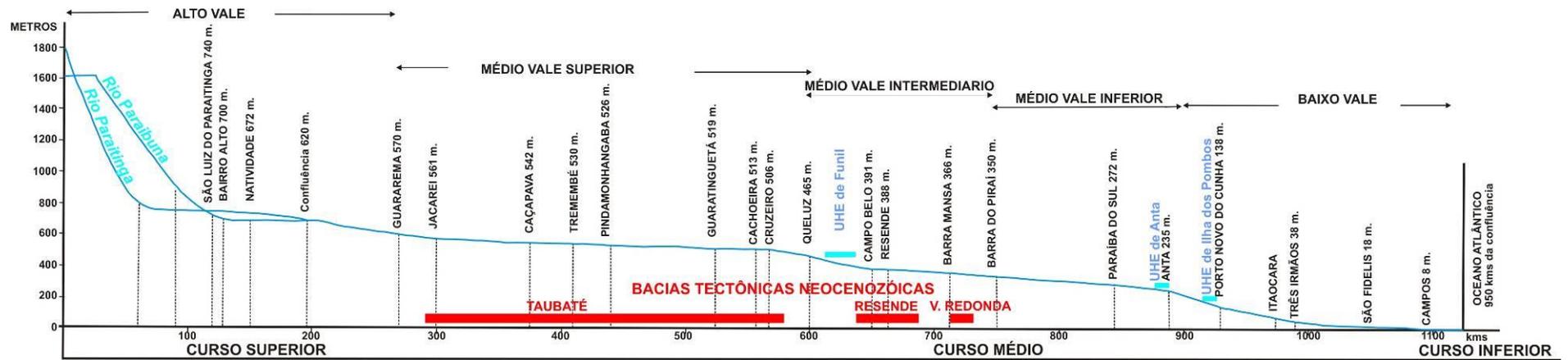


Figura A4.8: Perfil longitudinal ao longo do curso principal do rio Paraíba do Sul.

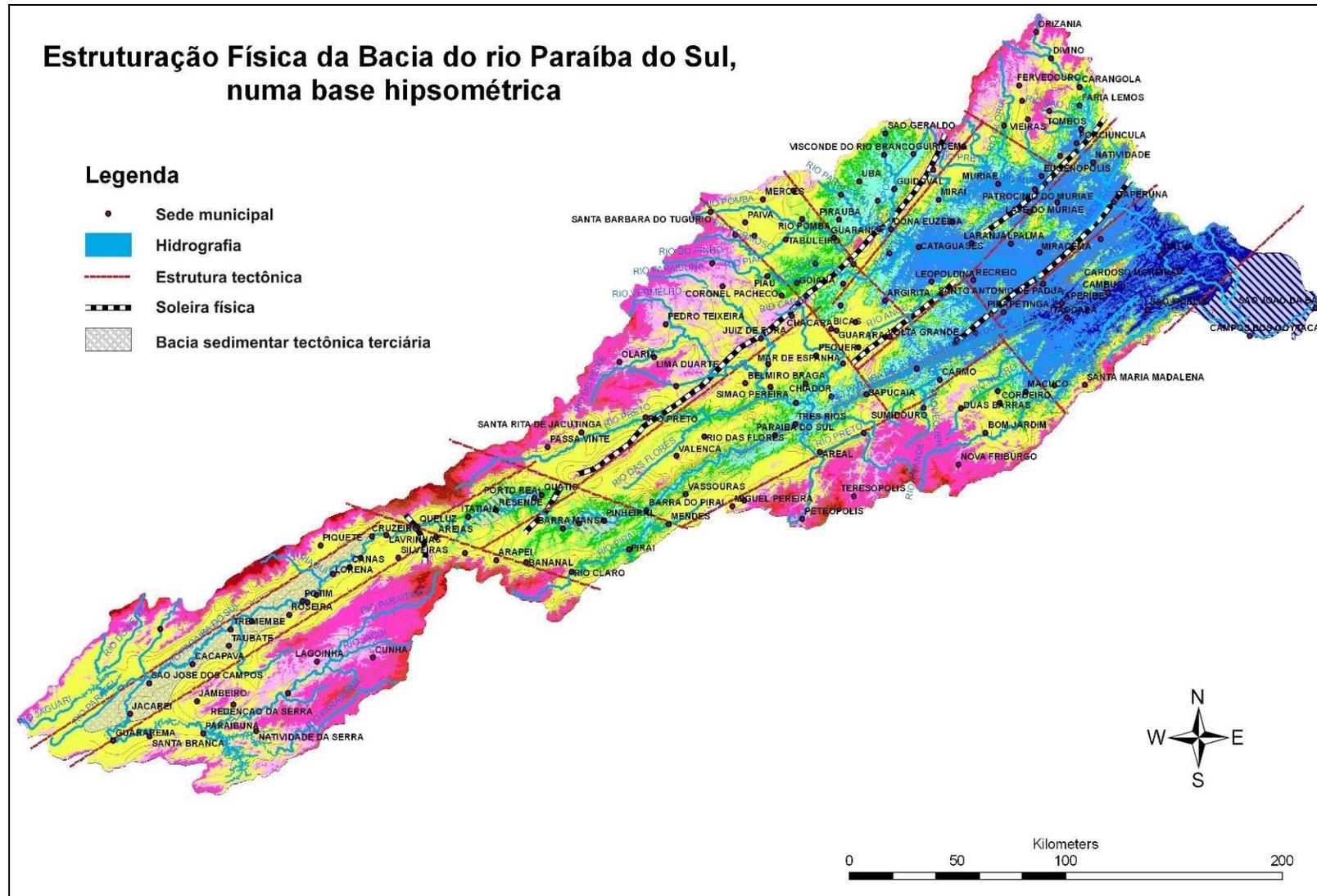


Figura A4.9: Esboço hipsométrico da bacia, sem escala de altitude real, elaborado com base em cartografia com equidistância de 100 m entre curvas de nível;

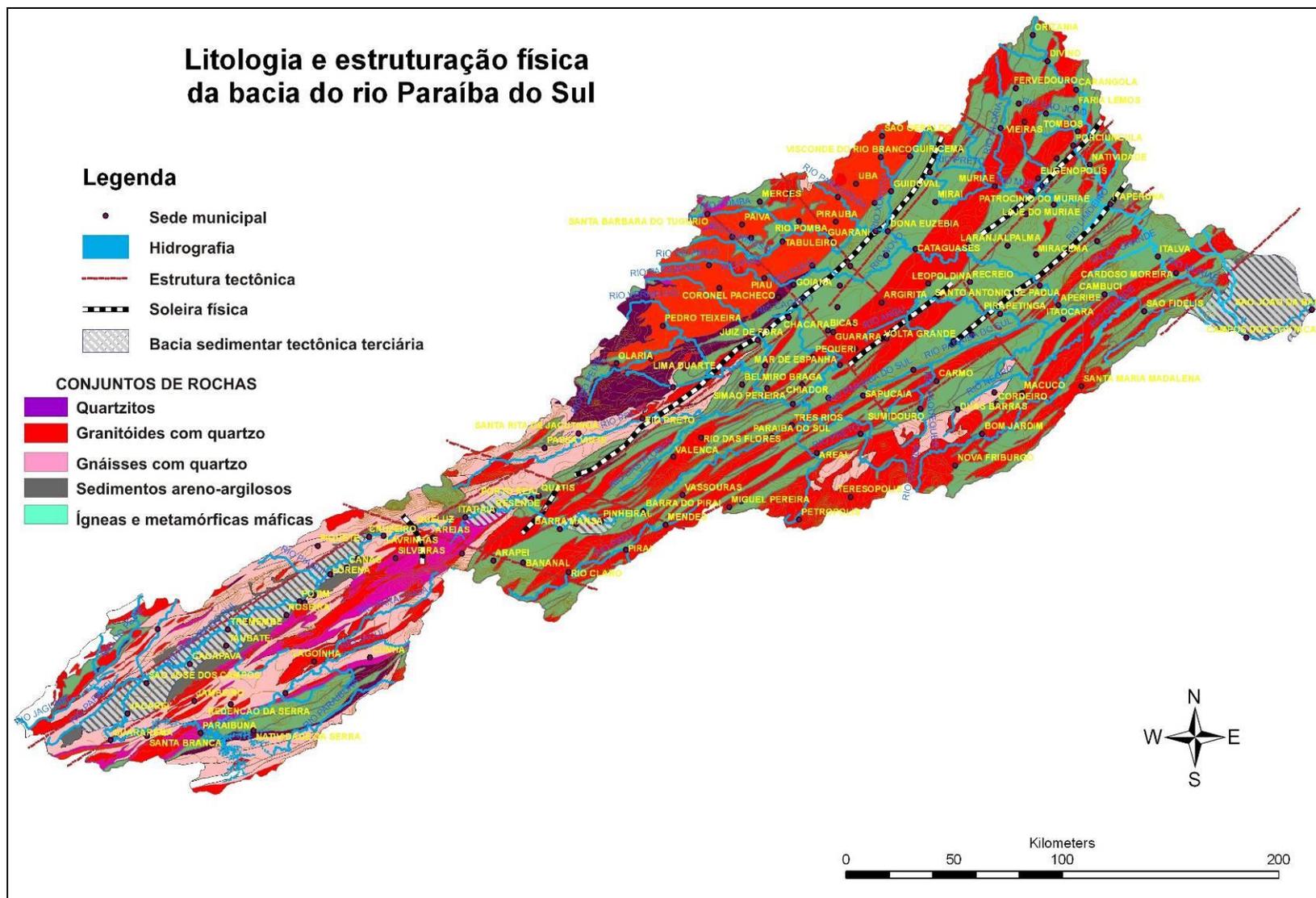


Figura A4.10: Mapa litológico da bacia com ênfase no potencial de produção de areias.

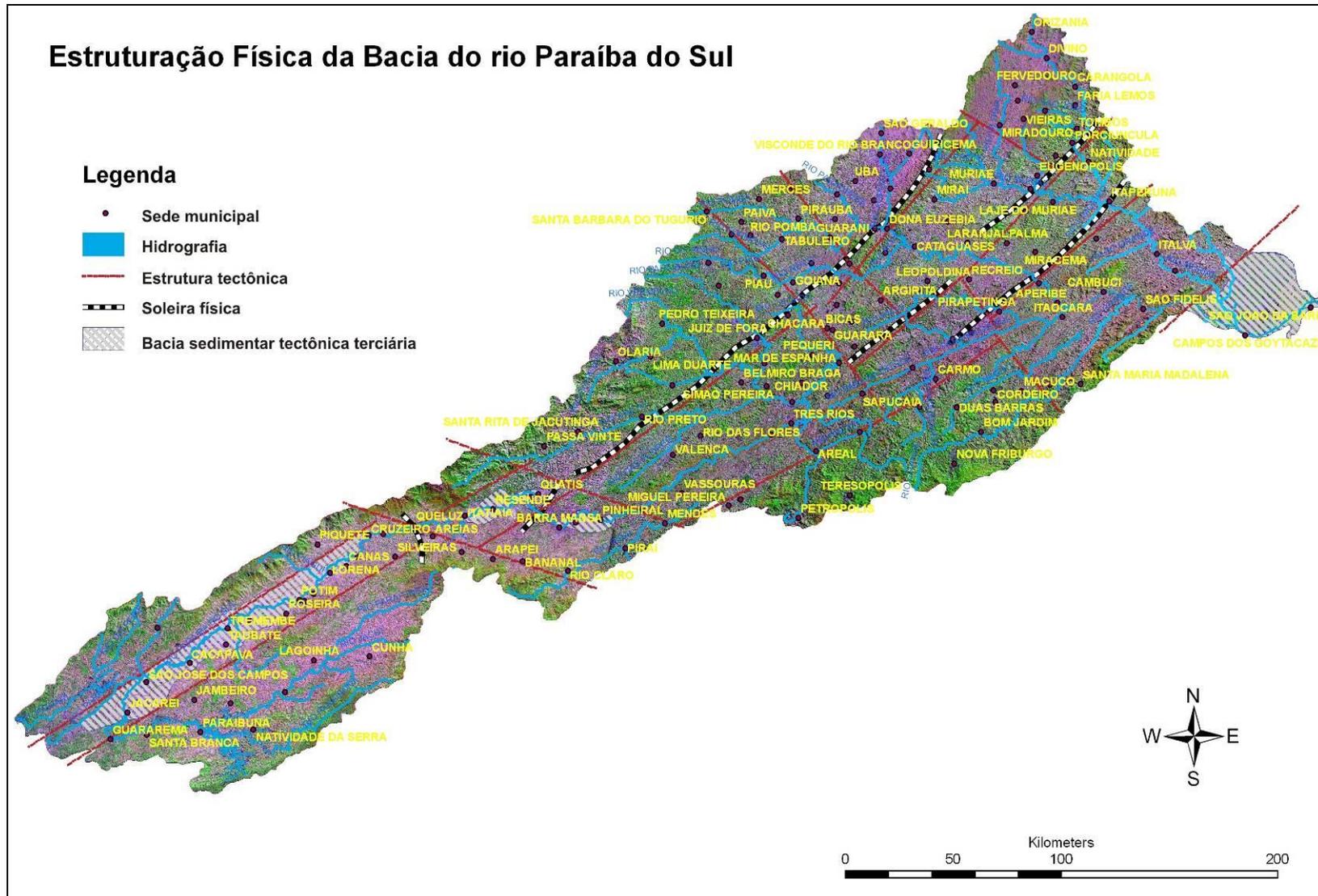


Figura A4.11: Mapa morfoestrutural, com localização das soleiras, bacias sedimentares e compartimentação estrutural da bacia.

A bacia foi subdividida em Alto, Médio e Baixo Vale com referência ao rio principal. Subdivisões são introduzidas, tanto no sentido de montante para jusante, quanto no sentido transversal destas porções.

ALTO VALE (Paraibuna-Paraitinga/SP)

O Alto Vale do rio Paraíba do Sul é composto pelas bacias dos rios Paraibuna-SP e Paraitinga, encaixadas, no estado de São Paulo, entre as serras do Mar ao sul e da Quebra-Cangalha (linha de crista avançada da serra do Mar), ao norte. O rio Paraitinga, o mais comprido dos dois, tem sua nascente localizada em altitude de 1800 metros, no Planalto da Bocaina, enquanto a nascente do rio Paraibuna se limita a uma altitude de 1600 metros.

Ambos correm paralelamente, de nordeste para sudoeste, entre rígidas linhas de crista talhadas em rochas predominantemente graníticas e gnáissicas. Esta direção é duramente imposta pela estrutura geológica representada por zona de cisalhamento brasileira que empinou o mergulho da foliação regional.

Seus vales superiores, relativamente estreitos em seus segmentos superiores, inclinam-se em mais de 1%, abrem progressivamente a jusante de Cunha/Lagoinha até a confluência em Paraibuna (Represa da CESP de Paraibuna), na altitude aproximada de 620 metros, conservando, no entanto um percurso recheado de corredeiras e soleiras de rochas duras. Neste trecho, os cursos de água correm encaixados no substrato granítico, seja em curtos segmentos retilíneos NE-SW, ou, mais freqüentemente, em meandros encaixados na rocha e sob controle de fraturas e falhas sub-perpendiculares à direção regional da foliação.

O baixo curso, já constituído por canal único, que se estende deste ponto até o limite inferior do Alto Vale do RPS, no local denominado “Cotovelo de Guararema”, na altitude de 570 metros. Este cotovelo que conduz o rio Paraíba do Sul a adotar, a partir deste ponto, um rumo totalmente oposto ao anterior é uma anomalia de drenagem que representa a expressão mais contundente de uma captura de um “paleo-Alto Tietê”, operada na passagem do Cretáceo para o Terciário.

Com estas características morfoestruturais, é lógico encontrar uma morfologia do “mares de morros” constituídos por colinas e morros convexo-côncavos, às vezes com topos ligeiramente arredondados, entre os quais divagam os cursos de água em curtos trechos que alternam pequenos alvéolos preenchidos por produtos da erosão, sob forma de pequenas planícies brejosas, e estreitamentos com corredeiras ou pequenas cachoeiras.

A alteração das rochas granitóides sob condições climáticas intertropicais úmidas, catalisada pelo denso fraturamento, permitiu a gênese de coberturas superficiais espessas e friáveis. Resultou disto a implantação de um sistema de erosão que associa processo de movimentos de massa (deslizamentos, escorregamentos, fluidizações) com voçorocas, algumas estabilizadas, mas apresentando sinais de reativação. Os produtos desta erosão parecem exceder a capacidade de transporte dos cursos de água e ficam entulhando os alvéolos fluviais, apesar da alta densidade da rede de drenagem e da aparente energia elevada do relevo. O eixo central da bacia do rio Paraibuna é, quanto a ele, ocupado por litotipos

caracterizados por conteúdo mineralógico máfico, mas são parcialmente cercados por conjuntos quartzíticos que suprem o sistema em areias quartzosas.

MÉDIO VALE SUPERIOR

O Médio Vale Superior do rio Paraíba do Sul é representado pelo trecho do médio vale bordejado pela serra da Quebra-Cangalha (1300 metros), em toda a extensão do Alto Vale, ao sul, e a alta escarpa da serra da Mantiqueira que, ao norte, ergue-se com o Planalto de Campos do Jordão (1200 metros) e o conjunto dos maciços de Passa Quatro e do Itatiaia (2800 metros).

O fundo do vale se mantém entre as cotas de 600 m e 500 m, sendo que o rio Paraíba do Sul escoava entre as cotas 570 m, no cotovelo de Guararema, e 513 m, em Cachoeira Paulista, perfazendo um desnível de apenas 57 m em uma distância de aproximadamente 250 km. Entre Jacareí e Cachoeira Paulista, a declividade do canal é de apenas 0,000186 m/m, menor que os 0,000387 m/m do curso inferior do rio na área de sua foz.

Isto explica sua seqüência morfológica que articula planícies aluviais submersíveis (várzeas), com largura oscilando entre 2,5 km e 4,0 km, onde a drenagem apresenta aspectos labirínticos e forte meandramento, indicando caráter de área claramente deprimida no contexto local, ou provavelmente subsidente. Em torno dessas várzeas, e mais freqüentemente à margem direita (sul), extensas áreas de colinas suaves se desenvolvem sobre distâncias de 15 km a 20 km. Esta fisionomia resulta de sua característica de vale tectônico, gerado pelo afundamento deste bloco relativamente ao soerguimento dos conjuntos serranos que o bordejam, durante o Período Terciário. Com este fenômeno, a depressão assim formada foi preenchida por depósitos sedimentares fluviais e lacustres, constituintes da Bacia Neocenozóica de Taubaté, largamente denunciada pelo aspecto de planície ligeiramente retocada exibido pela região situada entre Jacareí e Cachoeira Paulista.

Este processo de afundamento relativo parece não ter cessado, considerando o contato ainda brusco e anguloso que persiste em vários trechos do contato entre esta planície e a serra da Mantiqueira, à margem esquerda (norte). Há indícios de que aquela borda poderia estar ainda sob efeito de basculamento de bloco e, ao modo de um hemigraben, funcionar como borda de ângulo de falha ativa.

A litologia é composta por um embasamento organizado em lascas de direção ENE-SSW, onde predominam litotipos graníticos e gnáissicos, cuja alteração é potencialmente fornecedora de areias quartzosas, ao lado de argilas e siltes. Em meio ao conjunto, ficam espremidas manchas lenticulares de rochas metamórficas, principalmente xistosas com conteúdo quartzoso.

O centro da bacia apresenta uma espessa cobertura sedimentar de argilas e areias terciárias (Bacia de Taubaté) sobrepostas por camadas aluviais quaternárias, formando uma grande mancha que se estende de Guararema a Cruzeiro.

A dinâmica erosiva deste médio vale é notável pelas freqüentes voçorocas que rasgam as encostas das colinas, bem como as formas de conchas que tanto podem corresponder a

voçorocas estabilizadas, mas sempre em condição de estabilidade relativa, quanto sinalizam processos de movimentos de massa que trazem lenta, mas seguramente, os materiais friáveis dos mantos de alteração aos fundos de vales. Na realidade, os dois tipos de processos são complementares, ocorrendo em sistemas de recíproca catalisação.

As freqüências das voçorocas e dos derretimentos de solos nas encostas sinalizam o funcionamento de um sistema erosivo em materiais porosos, ou seja, bastante arenosos. Até a toponímia local assumiu esta característica com a denominação à localidade de Areias, que se situa a SSE de Queluz, no limite oriental de um enorme campo de voçorocas associadas a movimentos de massa.

Esta parte da bacia é isolada da porção de jusante por uma soleira composta pela elevação topográfica de um conjunto de morros gnáissicos. Esta larga e maciça soleira em rochas cristalinas da região de Queluz (aproximadamente 40 km), interliga as fraldas do maciço do Itatiaia, ao norte, às do Planalto da Bocaina, ao sul, e funciona como um travessão que mantém suspensa a depressão do Médio Vale Superior.

MÉDIO VALE INTERMEDIÁRIO

O Médio Vale Intermediário é o trecho da bacia delimitado, a oeste, pela soleira de Queluz e, a leste, pelo estreitamento do vale do Paraíba do Sul em Barra do Piraí. É constituído por duas depressões fluviais instaladas sobre as áreas de bacias sedimentares tectônicas terciárias, contemporâneas da Bacia de Taubaté – Bacia de Resende e Bacia de Volta Redonda -, separadas por uma ligeira soleira na direção da foliação regional ENE-WSW, situada entre Quatis/Porto Real e Barra Mansa. O rio Paraíba do Sul impôs a esta soleira um curso de direção NW-SE, cavado em estreito canal afunilado na direção NW-SE adaptada às falhas e fraturas que cortam perpendicularmente o *trend* regional. Essas últimas estruturas, de idade provavelmente mesozóica, interagem com a maior parte da rede de drenagem em todo o trecho da bacia em análise, controlando uma geometria fluvial em baioneta que pode ser observada até no desenho da represa da UHE Funil que se encontra localizada na extremidade ocidental da porção de vale.

A morfologia desta porção do vale do rio Paraíba do Sul repete a do Alto Vale Superior, com as serras que cercam as extremidades sul e norte, as colinas tabulares talhadas em rochas gnáissicas e graníticas, intercaladas com charnokitos de composição mineralo-química mais máfica e, ao centro, as planícies onde o rio Paraíba do Sul serpenteia em meio a um canal encaixado no assoalho litológico formado ocasionalmente de sedimentos terciários. Não se observa aqui o aspecto hidromórfico das planícies da Bacia de Taubaté. A dinâmica geomorfológica conserva o mesmo modelo, no entanto com intensidade amenizada.

Esta unidade territorial assume importante papel no fornecimento de sedimentos à rede hidrográfica, pois abriga uma região caracterizada por um desenvolvimento impressionante da erosão por voçorocas, a região de Bananal-SP, localizada na sub-bacia homônima. Este tipo de sistema de erosão, que alia ravinamentos a movimentos de massa, é estreitamente ligado à existência de lençóis de água subterrânea suspensos em encostas a componente arenosa e, conforme o caso, fortemente fraturadas.

MÉDIO VALE INFERIOR

O trecho que deve representar o Médio Vale Inferior é de maior complexidade, pois ocupa uma parte muito grande da bacia e dá início às partes desta que incorporam sub-bacias hidrográficas bastante diversificadas. Também, deve-se considerar o fato dessas alargarem-se em ambas as margens, incorporando maiores espaços serranos do que nas partes do sistema hidrográfico situadas mais a montante. Este trecho inclui as sub-bacias do sistema hidrográfico que contribui ao segmento do rio Paraíba do Sul situado entre Barra do Piraí, a oeste, e o barramento da UHE Anta, a leste. Trata-se, portanto, de um conjunto hidrográfico que, além de integrar o referido segmento do rio principal, inclui a bacia do rio Paraibuna-MG à margem esquerda (norte) e as dos rios Preto e Calçado à margem direita (sul).

O rio Paraibuna-MG busca suas nascentes na serra da Mantiqueira, mais especialmente nas serras quartzíticas do atual Parque Estadual do Ibitipoca, em altitude de aproximadamente 1500 metros, para juntar suas águas às do rio Paraíba do Sul, na cota aproximada de 264 metros, perfazendo um desnível de 1236 metros. Este percurso é realizado, numa distância reta de 90 km, através de vários pequenos degraus controlados pelas inúmeras soleiras impostas pela alternância de faixas litoestruturais de direção NE-SW. No entanto, uma delas assume um papel de segmentação fundamental, ao sustentar um degrau superior que abriga todos os altos cursos desta bacia, como também do rio Pomba. Passando pelas cidades de Juiz de Fora e Rio Preto, ele se conecta à soleira que separa as bacias sedimentares de Resende e Volta Redonda. Este degrau é ainda realçado, no caso da bacia do rio Paraibuna, pelo caráter predominantemente quartzítico do conjunto de serras, dentro das quais a do Ibitipoca, de Lima Duarte e do Chora. Este litotipo se altera em saprolito essencialmente arenoso, conforme se pode observar nas trilhas da região, bem como nas manchas claras que aparecem nitidamente nas imagens de satélite. O fornecimento de areias é ainda reforçado, nesta área, pelo embasamento granítico com notável componente quartzosa, cujos mantos de alteração estão sendo mobilizados por movimentos de massa, onde o fenômeno de fluidização parece assumir um papel muito importante.

No entanto, o transporte dessas áreas em direção a jusante deve ser realizado por processos de substituição de carga muito freqüentes, devido à forte segmentação da bacia pelas inúmeras soleiras, como também devido à presença de dois barramentos: Picada e em Levy Gasparian. Este último se antecede a uma segunda soleira importante, antes que o baixo curso adentre a faixa central da bacia do rio Paraíba do Sul, com sua faixa de rochas granito-gnáissicas extremamente cisalhadas por estruturas verticais. Entre as duas soleiras principais, a litologia incorpora faixas de rochas com notável componente máfica, aptas a fornecer uma carga sedimentar mais fina, com siltes e argilas.

Os rios de margem direita, quanto a eles se alimentam das águas da Serra do Mar, no conjunto serrano de Terosópolis e Petrópolis, em altitude que aproxima os 2000 metros. A organização morfológica é, neste caso, mais simples, pois composta do elemento montanhoso compacto da serra do Mar que domina um conjunto de mares de morros. As referidas serras abrigam os altos cursos dos formadores do rio Preto, sobre um embasamento essencialmente granitóide a componente quartzosa, onde são freqüentes as corridas de lama envolvendo massas

terrígenas arrancadas aos profundos mantos de intemperismo. Esta mobilização resulta no afloramento da rocha em altos morros em forma de pão de açúcar, muito freqüentes na região. Quanto aos mares de morros da parte baixa, eles são moldados sobre litotipos organizados em faixas de direção ENE-WSW (direção do *trend* regional da Zona de Cisalhamento Paraíba do Sul) alternadamente de caráter predominantemente máfico ou félsico. As encostas dessas morrarias são, também, palco de intensa erosão por movimentos de massa e voçorocas, resultando em transferência de massas terrígenas argilo-arenosas aos cursos de água, na ocasião dos fortes aguaceiros.

Em meio aos aportes das bacias das duas margens, o eixo central do vale realça o comportamento absolutamente original do traçado do rio Paraíba do Sul, no contexto da hidrografia de toda Região Sudeste. Traçado retilíneo sob estreitíssimo controle da Zona de Cisalhamento Paraíba do Sul, cujos efeitos se propagam às margens, numa faixa de até 10 km de largura, nos arredores das cidades de Paraíba do Sul e Três Rios. Neste contexto, as rochas graníticas se encontram praticamente “moídas” e sua alteração fornece materiais arenosos em abundância, fornecimento favorecido pela indução dos processos de voçorocamento.

BAIXO VALE

O Baixo Vale do rio Paraíba do Sul, do modo como concebido aqui, apresenta uma organização em blocos justapostos de NW para SE, incluindo o eixo central da bacia até a foz e duas bacias afluentes da Zona da Mata mineira, as bacias dos rios Pomba e Muriaé.

A porção ocupando o eixo central a jusante de Anta é caracterizada por alternâncias de lentes rochosas a dominante máfica (charnokitos e enderbitos, principalmente) ou félsica (granitos quartzosos), em continuidade à área de montante. A morfologia é semelhante, com mares de morros fortemente controlados pela foliação regional e a interposição de fraturas e falhas de direção NW-SE. As condições são, portanto, também, propícias à erosão por voçorocas e movimentos de massa associados, com produção volumosa de sedimentos argilo-arenosos, conforme está ocorrendo na realidade observada em imagens de satélite e relatada pela literatura geomorfológica.

Entre esta área e a foz, se interpõe uma área de acumulação e retenção sedimentar que foi tratada na parte do relatório sobre a evolução do delta. A morfodinâmica desta área foi alterada já nas Décadas de 1940 e 1950 com a consolidação dos diques objetivando a proteção da região de Campos.

Quanto às bacias afluentes da Zona da Mata mineira, deve-se ressaltar, de antemão, que a forte semelhança entre ambas induz a tratá-las como um conjunto, considerando a diferenciação espacial ligada mais ao escalonamento do relevo e à segmentação das bacias pelos efeitos da estrutura geológica.

De fato, a composição litológica do substrato geológico é semelhante, sendo constituída por faixas de rochas de direção NE-SW, alternadamente caracterizadas por composição predominantemente máfica ou félsica. Essas alternâncias petrográficas influenciam a

morfologia, pois as faixas mais resistentes impõem uma série de soleiras, com variadas ordens de imponentia, enquanto as faixas menos resistentes abrigam depressões fluviais relativas e/ou pequenos alvéolos, onde ocorrem retenções sedimentares denunciadas por forte entulhamento dos fundos de vales. A morfologia de detalhe é constituído por infinitos mares de morros, com alturas variadas, mas a mesma exposição a voçorocas e movimentos de massa, estreitamente associados. Esses processos são facilitados pelas elevadas declividades sobre mantos de alteração à forte componente arenosa. A influência das estruturas geológicas é, neste caso, também, evidente, sendo visíveis zonas de saprolitos e solos marcados por falhas quaternárias. Todos esses parâmetros associados constituem a receita ideal para a propagação da erosão por movimentos de massa e voçorocas, fato comprovado pela forte disseminação espacial de paleoformas ocorridas em períodos em que não havia tido ainda ocupação humana da região. Essas formas que permaneciam estabilizadas debaixo de uma densa cobertura florestal, estão sendo, hoje, integralmente reativadas após a completa destruição da mata.

A distinção espacial fica, portanto, por conta do papel das duas soleiras principais de direção NE-SW que devem assumir a função de bloqueio o retardamento do fluxo de sedimentos, pelo enfraquecimento da energia dos cursos de água.

A primeira soleira, já referida no caso da bacia do rio Paraibuna, percorre a área entre as cidades de Juiz de Fora, a SW, e São Sebastião da Vargem Alegre, a NE, controlando um alinhamento de cristas recortadas em gargantas pela travessia dos rios. Esta atinge somente a bacia do rio Pomba, isolando sua porção mais alta, a montante de Astolfo Dutra, em meio a um amplo anfiteatro que recebe a cidade de Ubá. Este anfiteatro é o palco de forte saída de sedimentos areno-argilosos, tanto por processo de voçorocas e movimentos de massa, como por erosão areolar ligada á impressionante destruição da cobertura florestal.

A segunda soleira, estirada entre Volta Grande a SW e Itaperuna a NE, interessa às duas bacias, isolando seus cursos médios em área sustentada por rochas da componente predominantemente máfica, o que permitiu o alargamento dos vales no sentido E-W e o enfraquecimento do controle estrutural pelo *trend* regional. Isto não significa que, internamente a essa porções de vales, não sobrem ainda alternâncias de alvéolos e soleiras, no entanto com efeitos menos drásticos. Observam-se, então, sucessões, de montante para jusante, de traçados em baioneta aos quais correspondem alvéolos com retenção sedimentar para os segmentos de direção NE-SW, e corredeiras ou cachoeiras em canais entrincheirados para os segmentos de direção NW-SE. É de notar que, nos alvéolos, ocorrem, lado a lado, erosão por voçorocas nas encostas e retenção sedimentar nas várzeas.

PEQUENO ADENDO ESPECÍFICO SOBRE A ZONA DA MATA

As bacias hidrográficas dos rios Paraibuna, Pomba e Muriaé apresentam características geológicas/geomorfológicas relativamente semelhantes. A diferença fundamental reside na “originalidade quartzítica” das serras que ocupam a alta bacia do rio Paraibuna.

O conjunto é estruturado em segmentos escalonados de bacias, de SE para NW, sob efeito do referido controle litoestrutural resultando da presença de zonas de cisalhamento precambrianas que alternam rochas ígneas e metamórficas com conteúdos variados em quartzo.

Por outro lado, fraturas e falhas compridas de direção NW-SE, perpendiculares ao *trend* regional, criam uma subdivisão no relevo e foram aproveitadas pela dissecação fluvial cenozóica. Alargadas por esses rios, elas só ainda aparecem nitidamente em rios pequenos como o Aventureiro e o Angu.

Duas abordagens devem ser ressaltadas para melhorar a compreensão do fenômeno erosivo na região:

☐ A – Organização morfológica regional

Com um enfoque que faz abstração da organização em bacias, já tratado anteriormente, pode-se dizer que a morfologia regional do conjunto se organiza em torno dos 3 níveis de superfícies escalonadas seguintes:

- Superfície Leopoldina, entre as cotas aproximadas de 300-400 metros, com relevo fortemente dissecado e ocorrência freqüente de várzeas com retenção sedimentar;
- Superfície Guaraní-Rio Novo, entre as cotas 450-500 metros, com relevo também fortemente dissecado, no entanto sem notável freqüência de várzeas;
- Superfície Ervália, entre as cotas 800-900 metros, com relevo fortemente dissecado, quase claramente montanhoso, com dinâmica predominante de produção terrígena por forte erosão.

☐ B – Sistema de erosão

Os processos de erosão observados na região exibem uma estreita relação entre processo de escavação linear, representados por voçorocas e movimentos coletivos de solos sob forma de deslizamento, desmoronamentos, corridas de lama, entre outros. Esses movimentos de massa ocorrem, também, no interior das voçorocas, enquanto processos que fazem parte de seu complexo erosivo.

Tem-se, portanto, a presença de processos geomorfológicos que necessitam da presença da água nas coberturas superficiais das encostas, sob a forma de lençóis freáticos suspensos. É, hoje, consenso que as voçorocas representam um processo que sinaliza uma tendência natural de escala regional, expressando, na realidade, um fenômeno de reajustamento da rede de drenagem. Elas correspondem a uma necessidade de expansão das cabeceiras motivada por desequilíbrio estrutural regional. A degradação antrópica tem o papel de, tão somente, catalizar e/ou acelerar seu desenvolvimento.

O fundamental papel da água subterrânea na ocorrência e desenvolvimento das voçorocas questiona as intervenções em bacias hidrográficas que resultam em elevação dos níveis freáticos regionais. Se, num primeiro período, após a implantação dos represamentos, parece se observar um processo de retenção sedimentar, a análise dos casos em longo período de

tempo mostra que neste tipo de regiões a tendência de longo prazo é a de retomada de voçorocas com maior intensidade do entulhamento das várzeas.

A4.3.5. COMPLEMENTOS DA GEOMORFOLOGIA FLUVIAL

A bacia do rio Paraíba do Sul inicia-se na serra da Bocaina, com talvegue em direção a sudoeste até a cidade de Guararema, SP. Nesse ponto a serra do Mar, que segue de sudeste para noroeste, desvia o curso do Paraíba do Sul direcionando-o, juntamente com a serra da Mantiqueira, para nordeste. Todo esse trecho, que se estende por quase 200 km, possui talvegue pouco sinuoso e encostas bastante íngremes, com elevado potencial de geração de sedimento.

Após esse trecho de elevada inclinação, o rio Paraíba do Sul segue por uma porção de aproximadamente 170 km com talvegue de baixa declividade, mas encostas ainda íngremes, até as proximidades da cidade de Cruzeiro. Esse trecho caracteriza-se pela elevada densidade urbana e, conseqüentemente, elevado potencial de geração de sedimento. Além disso, os leitos fluviais nas proximidades das cidades de Pindamonhangaba e Lorena, que possuíam uma longa seqüência de meandros, foram retificados com o intuito de controlar as cheias na região. Esse tipo de intervenção atua localmente na dinâmica de sedimento, não gerando prejuízos ao equilíbrio global da bacia do Paraíba do Sul.

A partir da cidade de Cruzeiro, nota-se uma mudança na morfologia da calha do rio Paraíba do Sul, que passa a possuir um talvegue pouco sinuoso, apresentando elevada declividade até o reservatório da UHE Funil, quando eleva seu grau de sinuosidade devido à redução da declividade, no entanto, não suficiente para torná-lo meândrico, ponto no qual a bacia inicia sua porção média.

A partir da cidade de Barra do Piraí, o rio Paraíba do Sul, ainda em sua porção média, entalha-se em um forte controle geológico estrutural, encaixando-se a calha menor diretamente sobre o nível de base regional, sem evidência de depósitos aluviais significativos.

Mesmo assim, nota-se que a calha menor do rio apresenta uma morfologia regular, limitada pelo controle geológico na base e por margens modeladas em depósitos aluviais pouco espessos. A Figura A4.12 ilustra o conceito do entalhe fluvial típico do rio a jusante da UHE Ilha dos Pombos, destacando a morfologia da calha menor, modelada pelas enchentes ordinárias, com baixos períodos de retorno. Esse tipo de morfologia, com a planície de inundação adjacente, é um indicativo de que todas as ocupações ribeirinhas, como casas e vias de acesso, apresentam uma elevada vulnerabilidade à ocorrência de cheias freqüentes.

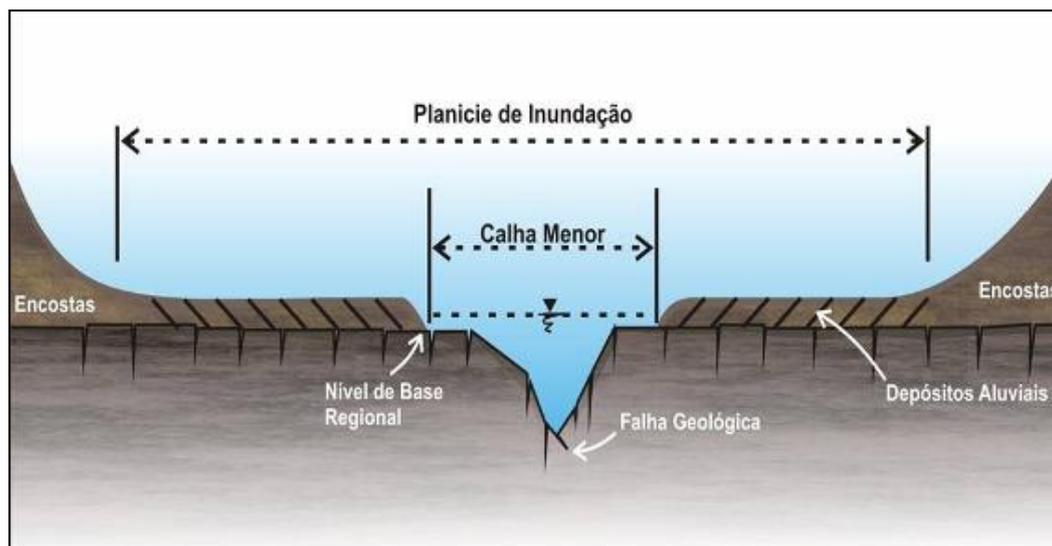


Figura A4.12 – Entalhe típico da morfologia fluvial do rio Paraíba do Sul no trecho de implantação dos empreendimentos entre as cidades de Piraí do Sul e Itaocara.

Pode-se esperar que o nível de água freático nas áreas adjacentes à planície de inundação, de formação aluvial, seja controlado pelas vazões médias e baixas (Figura A4.13). Durante as grandes cheias, a permanência de níveis mais altos na calha menor não deve ter duração suficiente para estabelecer um fluxo inverso influente, a ponto de elevar o nível freático em toda a extensão da planície.

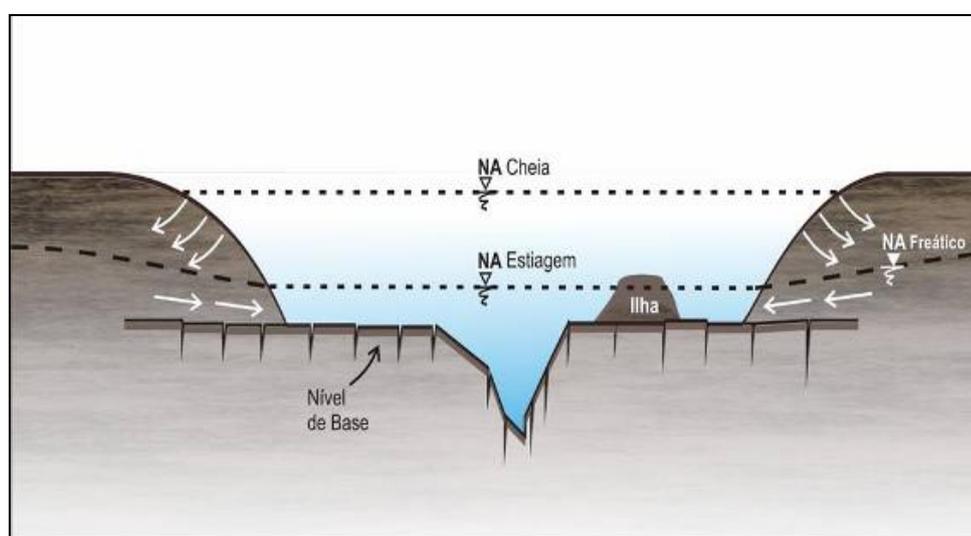


Figura A4.13 – Esquema da relação do nível de água freático na planície de inundação e os perfis de escoamento do rio Paraíba do Sul.

A partir da cidade de São Fidelis, até onde se observavam apenas formações rochosas no leito do rio Paraíba do Sul, nota-se a ocorrência de significativos depósitos de areia no leito do rio, como pode ser observado na Figura A4.14. Esta característica estende-se até a foz, caracterizando o trecho, em relação à dinâmica de sedimento, como de deposição. Essa característica é confirmada ao se analisar redução da declividade do leito a partir dessa cidade.

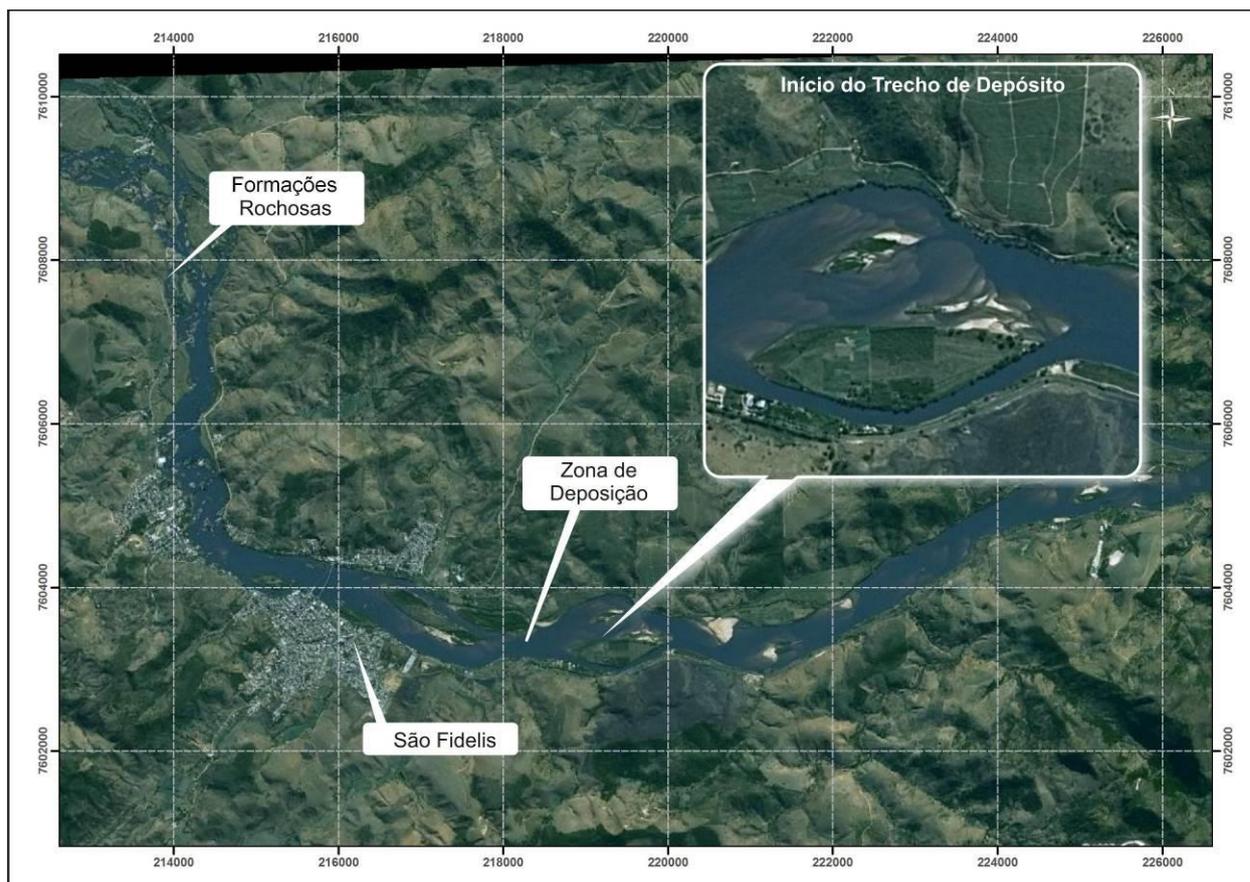


Figura A4.14 – Imagem de satélite indicando o início do trecho de deposição da bacia do rio Paraíba do Sul.

No entanto, apesar de apresentar diversos bancos de areia em todo o trecho de deposição, indícios apontam que o material aportado na foz é insuficiente para a manutenção da geometria atual, pois a barra vem sofrendo processos erosivos de elevada intensidade.

Esses processos se intensificam quando o volume de sedimento presente no escoamento é inferior à sua capacidade de transporte, culminando em uma maior capacidade erosiva do escoamento. Além disso, a supressão da vazão na bacia também pode agravar os processos erosivos na foz do rio, pois reduz a capacidade do curso de água de proteger o litoral do avanço do mar.

Essas duas características estão presentes no rio Paraíba do Sul, fazendo com que a barra deste rio sofra com a perda do volume dos depósitos.

A4.4. CARACTERÍSTICA DO DELTA DO RIO PARAÍBA DO SUL

A desembocadura do rio Paraíba do Sul compõe um delta que resulta do embate entre uma corrente fluvial carregada de sedimentos arenosos e uma dinâmica costeira num trecho de litoral onde as variações das marés são pequenas, o que obriga o rio a depositar os produtos da erosão ocorrida nas terras ribeirinhas. Deste modo, a extensão do delta aumenta paulatinamente com o passar do tempo, caso não sofra impedimento gerado por correntes marinhas. Em situações diferentes, areias, lama e outros sedimentos se acumulam em posição subparalela à linha de costa, formando *barra* de rio, que acabam obstruindo sua foz e cercando lagunas litorâneas.

O delta do rio Paraíba do Sul se formou em posição intralagunar, ou seja, foi construído no interior de extensas paleolagunas (Martin *et al.* 1993). Na Figura A4.15, pode-se observar que, durante o Quaternário Superior, o rio Paraíba do Sul não possuía foz no oceano e construía um delta intralagunar ao abrigo dos cordões litorâneos que se estenderam entre o Cabo São Tomé, ao sul, e a vila de Guarindiba ao norte. Do ponto de vista morfodinâmico, é um delta do tipo dominado por ondas, ou seja, um delta de forma triangular construído em local caracterizado por forte atuação das ondas e correntes litorâneas, com acumulação de sedimentos essencialmente arenosos.

No trecho de interesse deste estudo, ao norte do Cabo São Tomé, os autores identificaram, para o período dos 2500 últimos anos, a ocorrência de uma dinâmica de erosão da linha de costa em torno da proeminência do Cabo São Tomé, que teria sido compensada por uma sedimentação ao norte do mesmo, conforme mostrado pelas áreas delimitadas pela linha identificada na Figura A4.15.

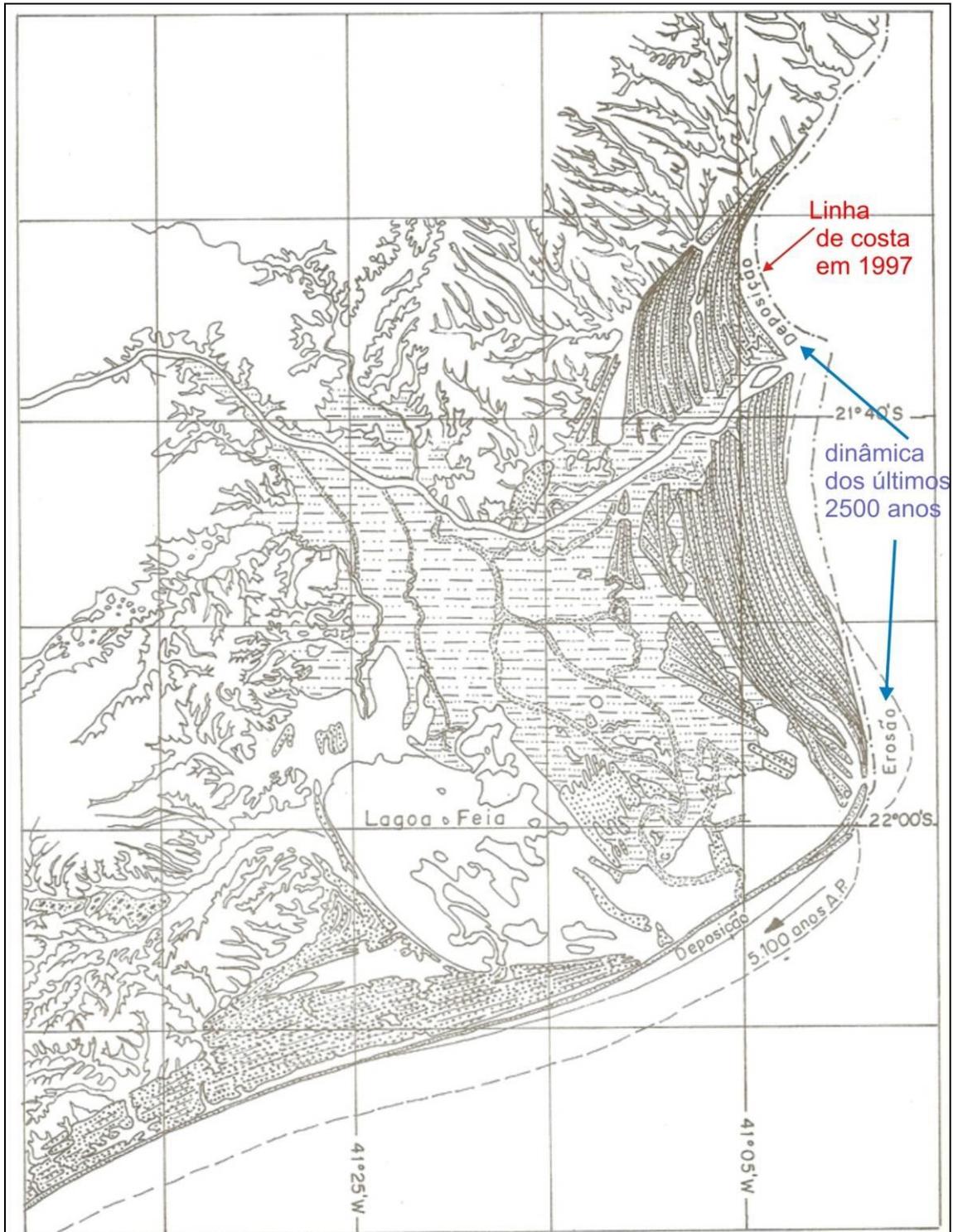


Figura A4.15 – Última fase geologicamente documentada da construção do delta do rio Paraíba do Sul, com os processos ocorrendo no período de 2500 anos até hoje. (segundo Martin et al. 1997).

Este processo de avanço da sedimentação na embocadura do rio Paraíba do Sul foi observado por vários geógrafos das décadas de 1940 e 1950, conforme relato de Cavalcanti Bernardes (1957):

“Na barra do Paraíba vêem-se hoje dois pontais cuja progressão testemunha a luta constante da corrente fluvial com a sedimentação marinha. O do Norte, separado do oceano por um braço de mar, é conhecido como ilha da Convivência. É formado por aluviões recentíssimas e seus contornos são irregulares e instáveis. Apresenta sua extremidade encurvada para oeste, denotando a influência dominante dos alísios, como, aliás, o da margem direita. Esse é o que tem revelado avanço mais rápido nos últimos anos, desviando para o norte a embocadura do grande rio. Segundo Raimundo Ribeiro Filho (1948), parece haver forte tendência atual para a obstrução da barra sul, procurando o rio reabrir passagem maior pelo lado norte da embocadura, destruindo um lado da ilha da Convivência”.

“Não apenas o pontal da barra tem crescido de modo sensível. A própria restinga tem-se alargado, avançando sobre o mar, como foi assinalado por Lamego (1957) que observou em quinze (15) anos uma progressão da praia da ordem de 100 metros. Comparando a situação atual da barra com as descrições do século passado, verifica-se que o avanço da sedimentação está se processando muito rapidamente.”

Os sedimentos trazidos à ponta de Atafona eram o resultado da erosão que resultou da destruição da floresta que cobria os relevos situados a montante e sua transformação em áreas de cultivo e pastoreio, principalmente daquilo que era realmente uma Zona da Mata, em Minas Gerais. De fato, uma abundante literatura relativa ao fenômeno de ocupação humana da bacia do rio Paraíba do Sul, faz relato de um processo de completa degradação da cobertura vegetal de regiões inteiras. O cultivo do café e da cana de açúcar, aliados à criação de gado bovino, sem nenhum cuidado com a proteção das encostas desencadeou vagas erosivas expressas por: remoção dos horizontes superficiais dos solos pela erosão laminar, incisão de profundas ravinas em vertentes antes florestadas, reativação de campos de voçorocas antes estabilizadas, mobilização de massas terrosas por movimentos de massa diversificados. Como conseqüências diretas, observou-se, ao mesmo tempo, um assoreamento generalizado dos fundos de vales em declividades fracas e um aporte de sedimentos excessivo à foz.

É este aporte que contribuiu ao referido avanço dos pontais e alargamento da praia. No entanto, conforme já tinha sido documentado por Cavalcanti Bernardes (1957), o rio mostrava já uma tendência a abrir um canal de comunicação com o oceano ao norte. Na Figura A4.16, além de conferir o avanço alcançado pelos pontais naquela época, pode-se observar que o pontal norte (margem esquerda) já apresentava sinais de dismantelamento - ele é mapeado como área alagada diferentemente do cordão arenoso do pontal sul – bem como o início de corte efetuado por um canal fluvial.

Pode-se indagar se esta tendência ao caminho para norte não foi, em boa parte, uma conseqüência da construção das obras de canalização e, principalmente, dos diques que foram implantados, já nos anos 1950, em proteção da Baixada dos Goitacazes constituída por toda a área do delta intralagunar ao sul da cidade de Campos. Consta também que foram implantadas

obras de guias-correntes, junto à foz, para facilitar a navegação, podendo ter contribuído assim para derivar o fluxo na direção norte.

Nota-se que a maior deposição em forma de delta ocorreu no pontal do Cabo de São Tomé, para onde corria o leito do rio Paraíba do Sul, em uma configuração que deve ter dominado em todo o Período Quaternário. Nessa configuração, o delta foi progredindo, com a distribuição simétrica dos sedimentos em ambas as direções, norte e sul. Em algum momento mais recente da atual era geológica, talvez ao final da última glaciação, o leito menor do rio derivou-se para nordeste, abandonando os canais que se dirigiam para a ponta do Cabo de São Tomé, iniciando-se assim a formação de um novo delta no pontal de Atafona.

Em uma hipótese meramente especulativa, pode-se conjecturar que a mudança na direção da calha menor do rio ocorreu em razão de um pulso morfogenético de curta duração (por exemplo, coincidência de um período chuvoso excepcional, com alto carreamento de material sólido em direção à foz, combinado com a elevação do nível do oceano, ao final do período de glaciação), conduzido ainda pelo efeito de deflexão da força de Coriolis, resultante do movimento de rotação da Terra.

Embora a corrente predominante na costa brasileira seja de nordeste, o que tenderia a carrear os sedimentos nas direções sul e sudoeste, formou-se uma corrente secundária de circulação, que também dirigiu os sedimentos para a direção norte, ao longo das praias de Santa Clara e do Sossego. O processo de desvio foi intensificado ao longo do Século XX, com abertura progressiva do canal norte e conseqüente redução dos sedimentos no desemboque do canal principal.

Com essa tendência de repartição do fluxo na foz, entre o canal principal e o canal norte, a erosão no pontal de Atafona deverá prosseguir, ao mesmo tempo em que haverá um aumento do assoreamento e espessamento dos sedimentos na região da lagoa e praia de Gargaú. Nota-se também que, embora a corrente dominante tenda a erodir o pontal do Cabo de São Tomé, a erosão imediata na praia de Atafona tende a aumentar a linha de praia imediatamente ao sul, na área da praia de Grussaí.

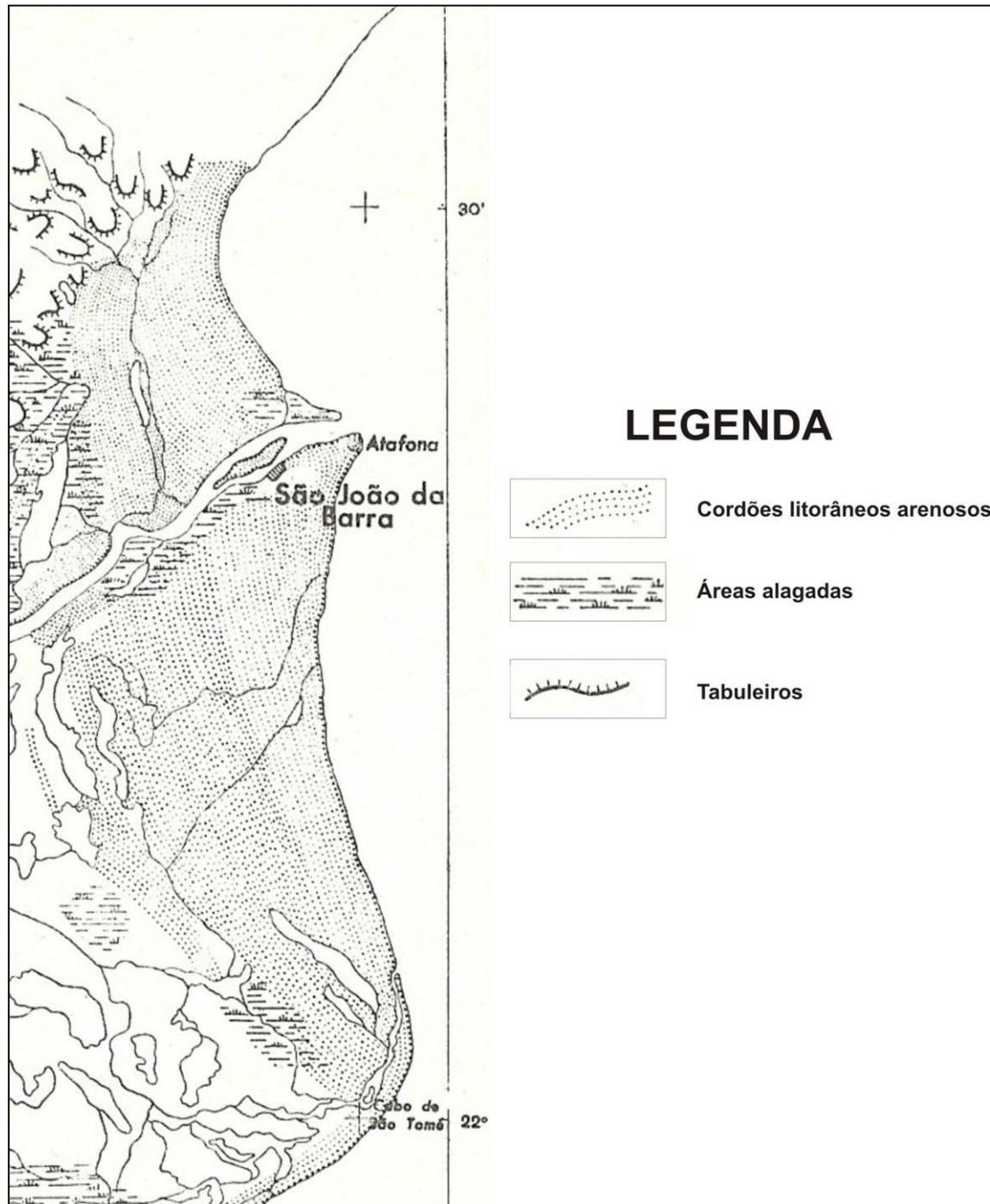


Figura A4.16 – Configuração geomorfológica da área do delta em 1957 (segundo Cavalcanti Bernardes 1957).

A consolidação do canal norte com o recorte do pontal norte é documentada pelo mapa geológico desta parte do litoral, conforme extrato inserido na Figura A4.17. Este mapa mostra que a ponta norte foi transformada em ilha (ou ilhas), enquanto o novo canal conduz águas e sedimentos na direção norte, diretamente para a área da vila de Gargaú. Enquanto isso, o pontal sul, ocupado pela cidade de Atafona mostra um encurvamento em direção norte, bem como um estreitamento.

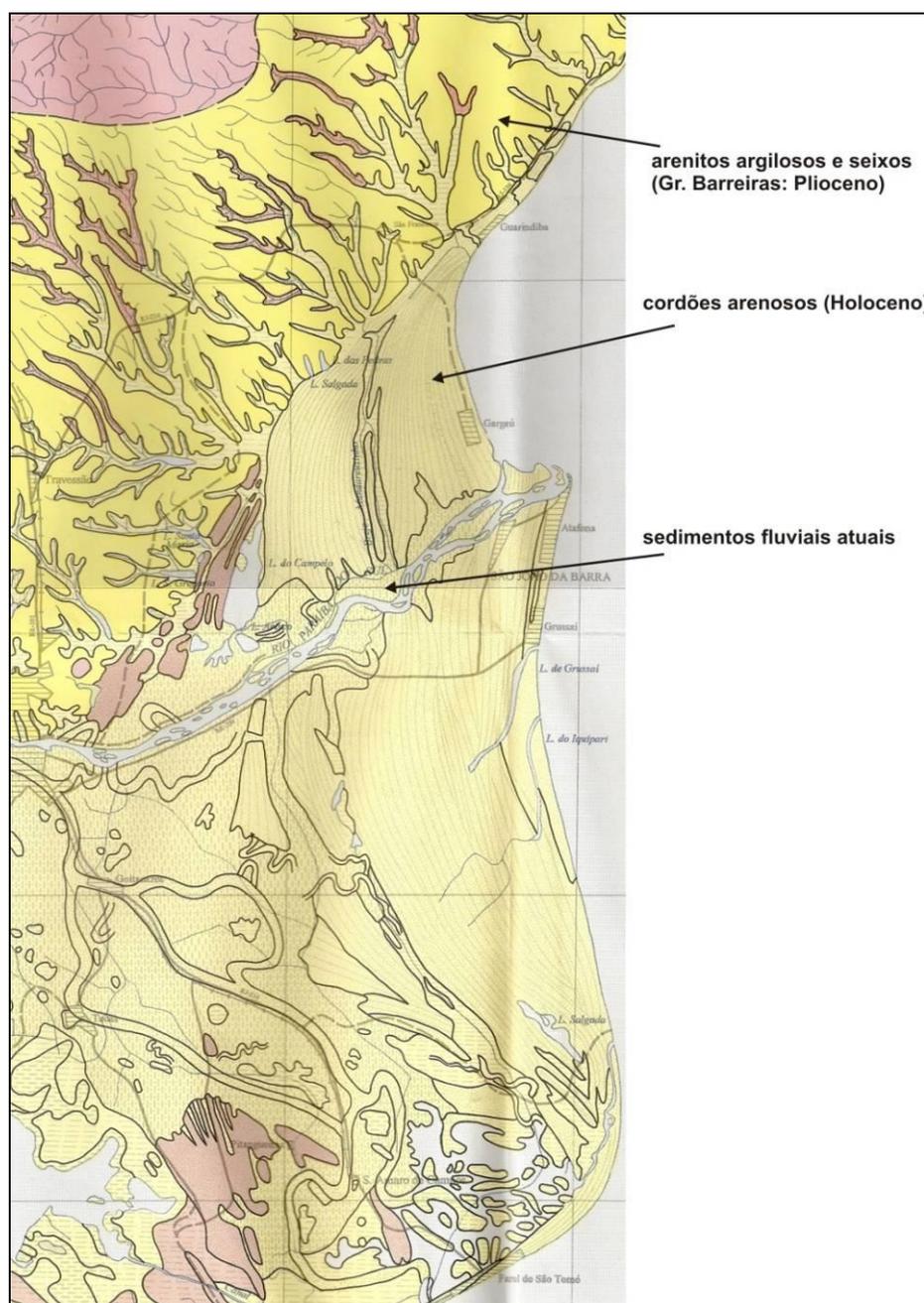


Figura A4.17 – Geologia recente do delta do rio Paraíba do Sul (segundo Martin *et al.* 1997).

No que diz respeito à época atual, deve-se considerar o seguinte relato de Noel 2009:

“Uma amostra do que pode ocorrer com ocupações humanas às margens das desembocaduras de grandes rios está no pontal de Atafona, município de São João da Barra, no norte fluminense. Encravado num banco de areia na foz do rio Paraíba do Sul, o povoado começou a ser engolido pelo mar há meio século, antes mesmo de os cientistas apresentarem ao mundo o fantasma do aquecimento global. Avançando metro a metro, as águas já tragaram ruas de 14 quarteirões e tomaram mais de 180 imóveis – casas, lojas, escola e posto de gasolina. Em ruínas ainda de pé, vivem famílias de sem-teto prontas a bater em retirada quando o mar ruga forte e ameaça lamber mais terra.”

Vários fatores naturais conjugam-se contra Atafona, onde a ocupação humana nunca preservou distância prudente do Atlântico e do Paraíba. "Não há como afirmar que a erosão tem causa única, como a elevação do nível do mar. Os motivos estão relacionados com ventos, ondas, marés e correntes litorâneas", resume o geógrafo Gilberto Pessanha Ribeiro. Professor das universidades Federal Fluminense (UFF) e do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), ele coordena o Projeto Atafona – uma parceria entre as duas instituições que realiza o mapeamento cartográfico e o levantamento evolutivo da erosão que leva o lugarejo a encolher."

A destruição da parte da cidade de Atafona (fotos da Figura A4.18) que avançou, de modo muito imprudente, sobre o pontal arenoso, nas últimas décadas, além de representar o resultado do processo natural de remodelação da linha de costa pelas ondas eficazes do setor sul da mesma (conforme ilustrado na Figura A4.15), deve ter sido facilitado pelo fato do alargamento e consolidação do canal norte (Figuras A4.16 e A4.17). Este funciona como canal de subtração de notável quantidade de sedimentos ao canal sul, facilitando deste modo o trabalho do sistema de ondas e correntes marinhas, pela diminuição da energia da corrente fluvial na área do pontal de Atafona.



Figura A4.18 – Exemplos de estragos da erosão da linha de costa em Atafona.

A rápida descrição feita da evolução morfodinâmica na área do delta do rio Paraíba do Sul, durante as últimas décadas mostra o seguinte:

- ❑ O delta do rio Paraíba do Sul é do tipo dominado por ondas, no caso ondas eficazes de sul;
- ❑ Existe uma tendência natural, em vigor desde, aproximadamente, 2500 anos, a um funcionamento da morfodinâmica deste trecho do litoral sob comando de ondas eficazes de sul que sustentam uma erosão da curva convexa do Cabo de São Tomé e conduzem os sedimentos resultantes para engordar as praias situadas ao norte;
- ❑ O aporte excessivo dos produtos da erosão das áreas desmatadas no interior da bacia, durante as primeiras décadas do século XX, induziu um forte avanço dos pontais na região de Atafona, expondo fortemente essas barras de areia à energia das ondas e correntes marinhas;
- ❑ É provável que a construção dos diques para proteger a margem direita do rio, na região de Campos, tenha contribuído ao direcionamento da corrente fluvial para norte, o que diminuiu a eficácia da corrente fluvial frente às ondas marinhas na embocadura do canal de Atafona;
- ❑ As características variáveis da dinâmica geomorfológica atual deste setor do litoral são ilustradas pela Figura A4.19 e mostram que: 1) o setor sul deste litoral está sob efeito de erosão das praias, com a do Açú, erosão que, com menor intensidade, tende a abrir canais de comunicação entre o oceano e as lagunas de Grussaí e Iquipari; 2) erosão intensa na Ponta de Atafona, cuja evolução caminha no sentido de uma forte laminação devido à sua exposição excessiva ao sistema de ondas de sul; 3) sedimentação na área da Praia de Santa Clara e de Gargaú, com tendência ao fechamento da comunicação entre o oceano e o canal norte do rio recentemente aberto, formando um complexo de lagunas; 4) retomada da erosão das praias com fraca intensidade no setor mais setentrional, a exemplo da Praia do Sossego.
- ❑ A implantação das obras hidráulicas projetadas na parte baixa da bacia do rio Paraíba do Sul terá, com toda evidência, conseqüências difíceis de prever, considerando a complexidade da dinâmica deltaica e a carência de informações precisas. Fazendo abstração da polêmica em curso sobre os efeitos adicionais de um “provável aquecimento global” na subida do nível do mar, é lógico pensar que a redução do volume de água e da carga sedimentar na foz terá por impacto um enfraquecimento da corrente fluvial frente ao trabalho das ondas e correntes marinhas e da maré, catalizando o processo de erosão na Ponta de Atafona. Nas últimas décadas, esse problema ficou agravado pela ramificação da foz do rio Paraíba do Sul, com derivação do canal norte e direcionamento de parcela substancial do fluxo de descargas líquidas e sólidas.
- ❑ Neste contexto, mesmo com o suprimento pelo rio sendo diminuído, o aporte sedimentar da deriva à região de Gargaú e Santa Clara deverá aumentar em termos relativos e, eventualmente, contribuir a acelerar o fechamento do canal norte, ele mesmo enfraquecido pela diminuição da vazão fluvial, e assim retornar à morfologia da década de 1940.

- ❑ Por fim, se tudo funcionar nesta direção, o aporte sedimentar pelas ondas marinhas deveria se espalhar para uma área maior na direção norte, vindo, provavelmente, a inverter a tendência em curso, e começar a engordar as praias como a do Sossego.
- ❑ Ainda, uma eventual erosão mais acentuada da ponta de Atafona, poderia conduzir a uma acentuação da deposição das praias do segmento sul (Grussaí, Iquipari), embora o Cabo do São Tomé tenda a ser fortemente erodido pelas correntes dominantes de nordeste.

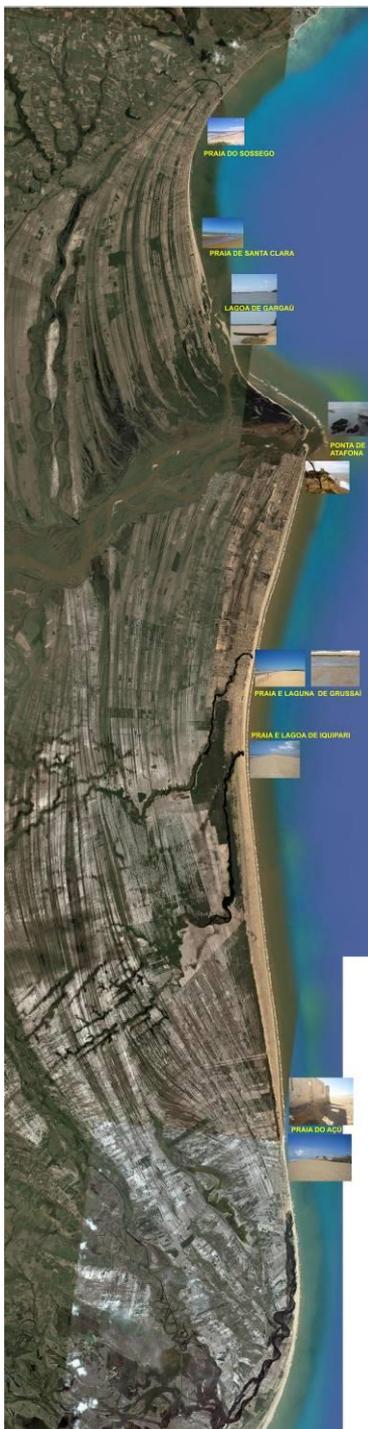


Figura A4.19 – Imagem de satélite do delta do rio Paraíba do Sul.

A4.5 CARACTERÍSTICAS DO REGIME SEDIMENTOLÓGICO

A finalidade desse Item é a de quantificar o regime sedimentológico do rio Paraíba do Sul, para facilitar os entendimentos do diagnóstico das condições atuais e dos prognósticos relativos aos impactos decorrentes da implantação dos aproveitamentos. Uma análise quantitativa do transporte sólido de uma bacia que apresenta um nível de antropização já bastante elevado e características geomorfológicas tão distintas, com presença abundante de rochas quartzíticas e, ao mesmo tempo, diversas soleiras que representam controles geológicos e hidráulicos, apresenta-se de maneira complexa, às vezes não apresentando continuidade de massas nos trechos fluviais, nos curtos intervalos de tempo abrangidos pelas séries de monitoramento. No entanto, essa caracterização de continuidade é importante no presente trabalho, por permitir uma visualização dos volumes associados e do comportamento geral da dinâmica dos sedimentos em uma bacia dessa natureza.

Dessa maneira, foram associados os dados medidos de concentração nas estações de monitoramento hidrossedimentológico ao transporte sólido total na bacia. A partir dessas informações de concentração de sedimentos, calculou-se a descarga sólida anual em suspensão através da equação A4.1.

$$Q_{ss} = 0,0864 \cdot Q_{liq} \cdot C \quad (\text{Equação A4.1})$$

sendo: Q_{ss} a descarga sólida em suspensão (ton/ano), Q_{liq} a vazão no instante da medição da concentração (m^3/s) e C a concentração de sedimentos em suspensão (mg/l).

Para o cálculo da descarga sólida total, utilizou-se a publicação “Diagnóstico das Condições Sedimentológicas dos Principais Rios Brasileiros”, elaborada pela ELETROBRÁS em 1992. Nesse documento, a partir da estação hidrossedimentométrica do rio Paraibuna em Juiz de Fora, os afluentes mineiros da margem esquerda do rio Paraíba do Sul foram enquadrados na Classe 2, na qual a relação entre a descarga sólida de arraste (Q_{SA}) e a descarga sólida em suspensão (Q_{SS}) está entre 1,0 e 0,5. Para efeito do presente diagnóstico, adotou-se o limite inferior desse intervalo, isto é, $Q_{SA}/Q_{SS}=0,5$. Essa relação foi generalizada para toda a bacia do rio Paraíba do Sul.

Considerando que a descarga sólida total (Q_{ST}) é calculada pela soma “ $Q_{SS} + Q_{SA}$ ”, têm-se as relações $Q_{ST}=1,50 \cdot Q_{SS}$ e $Q_{SA}=Q_{ST}/3$. Dessa maneira, os dados de descarga sólida em suspensão encontrados foram multiplicados pelo fator 1,5 para se encontrar a descarga sólida total.

A partir da dispersão dos pares de valores de descarga sólida total e correspondentes valores de vazão, foi possível gerar a curva-chave de sedimento para cada estação. A Figura A4.20 apresenta as curvas-chaves de sedimentos das estações de Anta, Itaocara e Campos. Observa-se que, conforme o comportamento natural de redução da produção de sedimento na direção de jusante (Figura A3.2), as curvas reduzem suas inclinações à medida que se aumenta a área de drenagem.

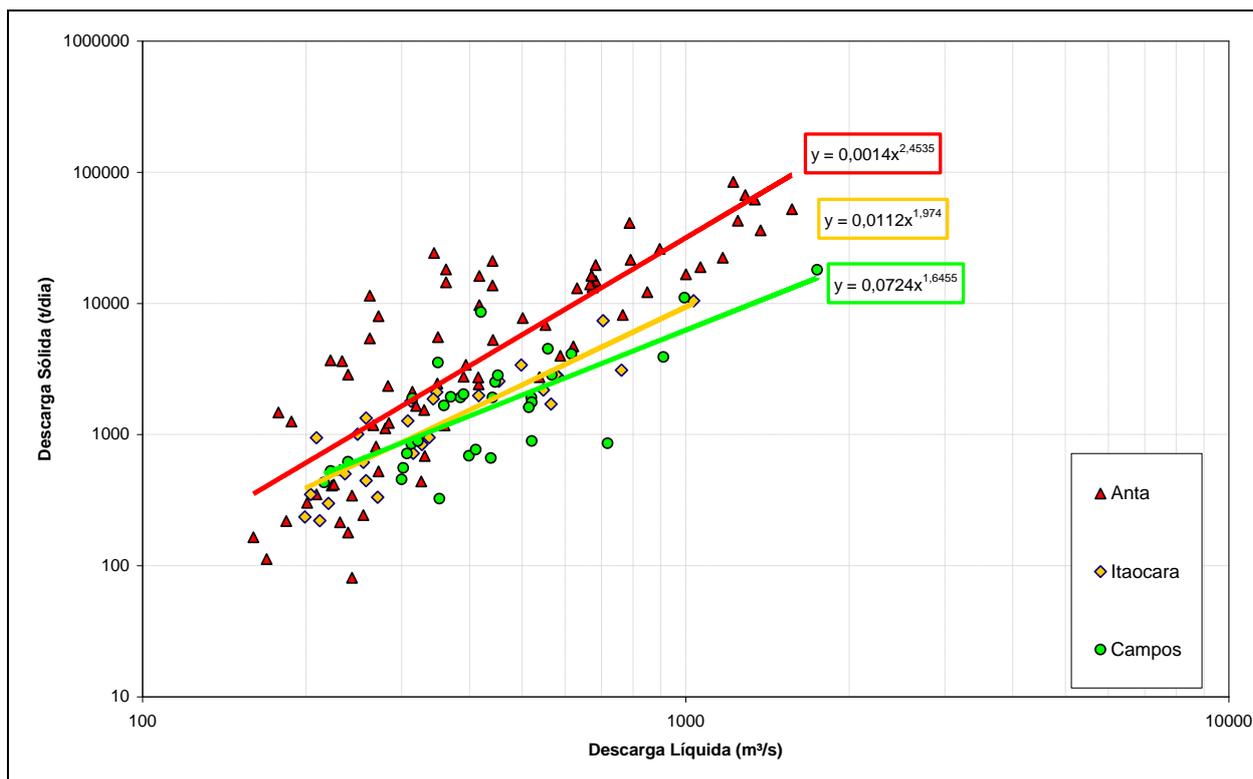


Figura A4.20 – Curvas-chaves de sedimento das estações de Anta, Itaocara e Campos.

As equações das curvas-chaves de sedimentos, assim determinadas, foram utilizadas para o cálculo da produção total anual, a partir dos dados de vazão média mensal. Para os rios Paraíba do Sul e Pomba, que apresentavam duas ou mais estações de monitoramento, foi possível avaliar a continuidade do transporte sólido ao longo do curso principal.

As bacias dos rios Muriaé, Dois Rios, rio Piabanha e Paraibuna não puderam ser avaliadas em termos de continuidade, devido à existência de apenas uma estação hidrossedimentológica com dados consistentes. A bacia do rio Dois Rios não possui monitoramento sedimentométrico.

A Tabela A4.3 e a Figura A4.21 apresentam os resultados dos estudos sedimentológicos realizados. O diagrama unifilar da bacia do Paraíba do Sul, apresentado na Figura A4.22, fornece em planta, a visualização da dinâmica sedimentar que é descrita na seqüência.

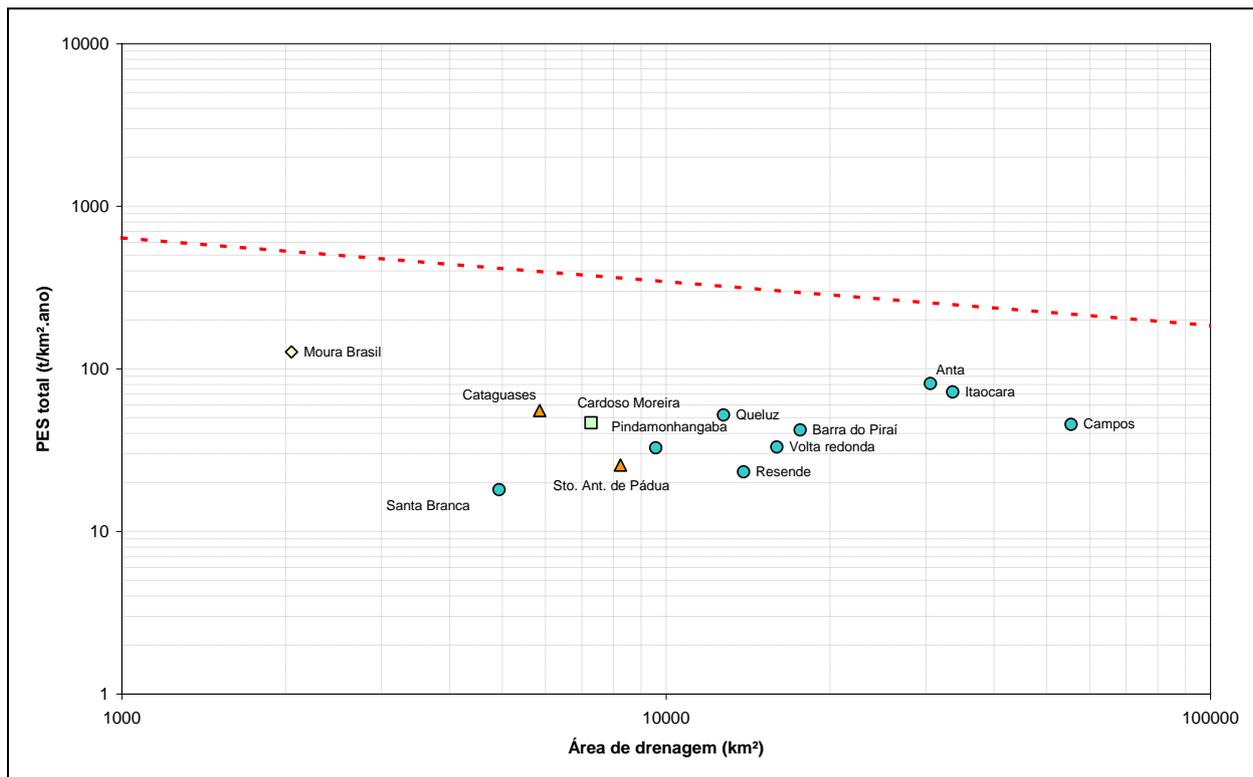


Figura A4.21 – Produção específica de sedimento total das estações utilizadas no estudo.

Tabela A4.3 – Resultado dos estudos sedimentológicos.

Estação	Rio	Área (km²)	PES total (ton/km².ano)	Produção total sedimento (ton/ano)
Cataguases	Pomba	5858	55	324.752
Santo Antônio de Pádua	Pomba	8245	26	209.177
Cardoso Moreira	Muriaé	7283	47	330.642
Juiz de Fora	Paraibuna (Mineiro)	981	95	94.059
Moura Brasil	Piabanha	2049	127	260.210
Santa Branca	Paraibuna (Paulista) OBS: Cabeceira do Paraíba do Sul.	4935	18	89.249
Pindamonhangaba	Paraíba do Sul	9576	33	314.637
Queluz	Paraíba do Sul	12.749	50	639.174
Resende	Paraíba do Sul	13.882	23	325.137
Volta Redonda	Paraíba do Sul	15.980	33	523.602
Barra do Pirai	Paraíba do Sul	17.639	42	740.792
Anta	Paraíba do Sul	30.579	81	2.480.193
Itaocara	Paraíba do Sul	33.628	72	2.427.555
Campos-Ponte Municipal	Paraíba do Sul	55.500	45	2.512.487

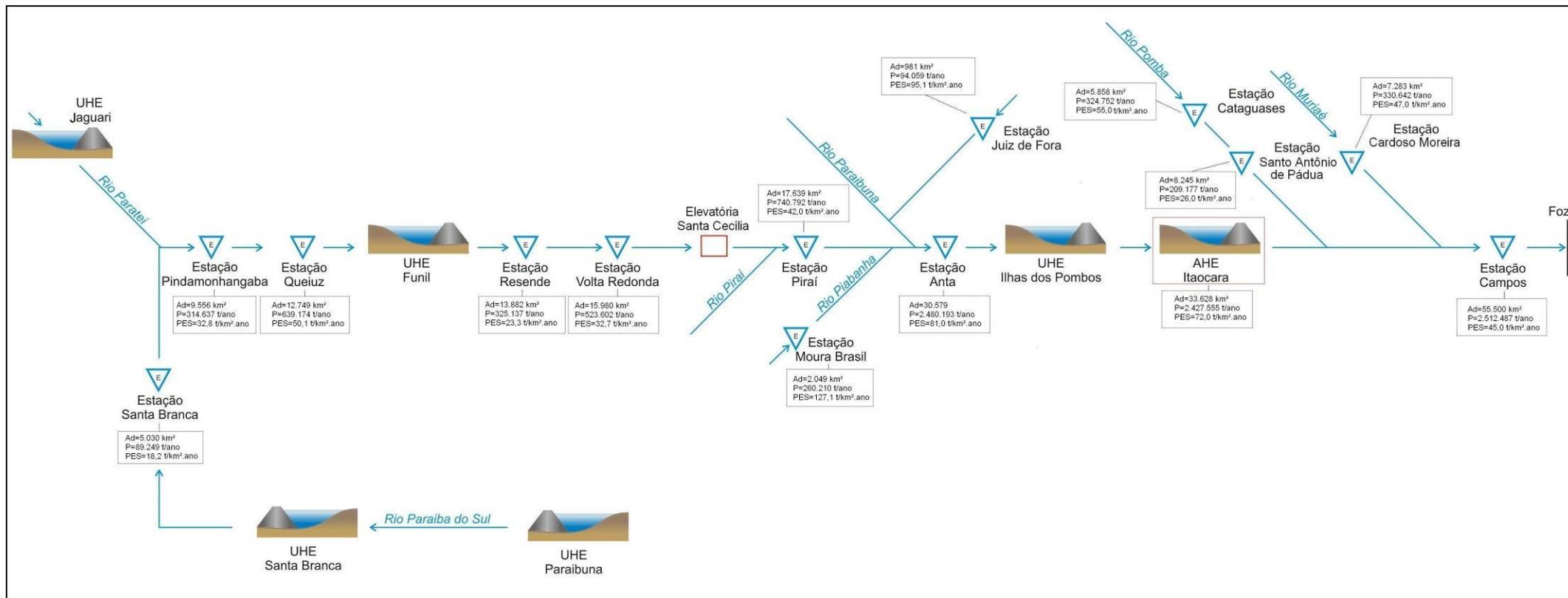


Figura A4.22 – Diagrama unifilar da bacia indicando as estruturas hidráulicas, cidades e produção específica de sedimento.

Trecho entre a cabeceira da bacia e a estação Queluz:

Neste trecho existem três grandes reservatórios, com capacidade total de reservação de 4.293 hm³ e eficiência de retenção de sedimento superior a 90%. Dessa maneira, a PES a jusante dos reservatórios da UHE Paraibuna e UHE Santa Branca é de apenas 18 ton/km².ano, com produção média anual de 89.249 ton/ano, valores inferiores à produção média de bacias com esse porte, que não possuem reservatórios. Após a confluência com o rio Parateí, represado pela UHE Jaguari, na estação de Pindamonhangaba, a PES se eleva para 33 ton/km².ano, pois há um incremento de área de drenagem sem a influência de reservatório, a produção média anual se eleva para 314.637 ton/ano. O trecho entre Pindamonhangaba e Queluz possui alta densidade urbana, fato que eleva a taxa de produção de sedimento para 639.174 ton/ano e a PES para 50 ton/km².ano. Nesse trecho, fica nítida a influência dos reservatórios com elevada capacidade de retenção de sedimentos, refletida pela baixa PES em Santa Branca. No sentido de jusante, o aumento da produção de sedimentos pode ser notado pelo comportamento anômalo da curva de produção específica, que não segue a tendência de redução esperada.

Trecho entre as estações Queluz e Resende:

Neste trecho a UHE Funil exerce um importante papel reduzindo pela metade a produção média de sedimento, que alcança 325.137 ton/ano e PES de 23 ton/km².ano. A Figura A4.23 mostra o delta do reservatório da UHE Funil, que possui eficiência de retenção de quase 90% de todo o sedimento a ele aportado. A alta eficiência de retenção do reservatório pode ser notada pelos depósitos na cabeceira do reservatório, praticamente retendo toda a descarga de arraste. Embora não seja possível avaliar a distribuição entre as descargas por suspensão e por arraste, é provável que a primeira modalidade predomine no escoamento a jusante do aproveitamento.

Trecho entre as estações Resende e Barra do Piraí:

Entre as estações de Resende e Volta Redonda, há um incremento de produção média anual de sedimento e PES, atingindo 523.602 ton/ano e 33 ton/km².ano, respectivamente. Isso ocorre em razão do aumento na área de drenagem sem a influência de um grande reservatório. Pouco a montante da estação de Barra do Piraí, a Elevatória de Santa Cecília retira em média uma vazão de 140 m³/s do rio Paraíba do Sul (quase 60% da vazão média de longo termo). Esta supressão de vazão faz com que o incremento entre Volta Redonda e Barra do Piraí não siga a normalidade na produção de sedimento, pois a produção média se eleva de maneira significativa, totalizando 740.792 ton/ano, elevando a PES para 42 ton/km².ano.

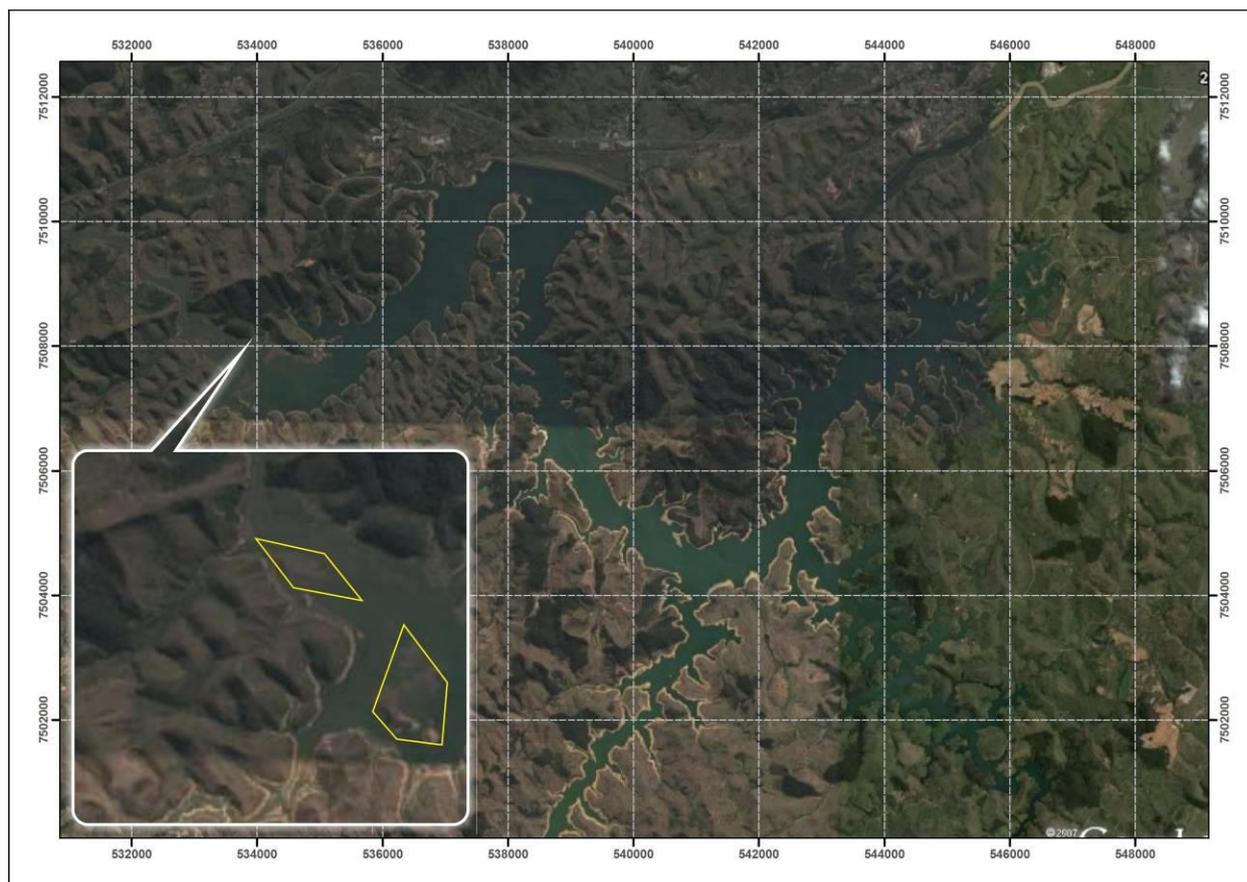


Figura A4.23 – Delta do reservatório da UHE Funil no rio Paraíba do Sul.

Trecho entre as estações Barra do Pirai e Anta:

Nesse trecho são introduzidas as contribuições de dois importantes tributários do rio Paraíba do Sul: rio Paraibuna (mineiro) e rio Piabanha. Ambos afluentes possuem reservatórios com elevada capacidade de retenção em suas bacias, embora localizados em sub-bacias relativamente pequenas. Assim, há um substancial incremento de produção média anual de sedimento e de PES, atingindo 2.480.193 ton/ano e 81 ton/km².ano, respectivamente. O aumento ocorre, mais uma vez, devido ao incremento de área de drenagem sem a intervenção de reservatórios, pois os reservatórios que possuem elevada eficiência de retenção, como pode ser observado na Figura A4.24, não estão localizados nos cursos de água principais dessas sub-bacias, restringindo sua área de atuação a uma superfície que contribui em menor escala na dinâmica de sedimento da bacia do Paraíba do Sul.

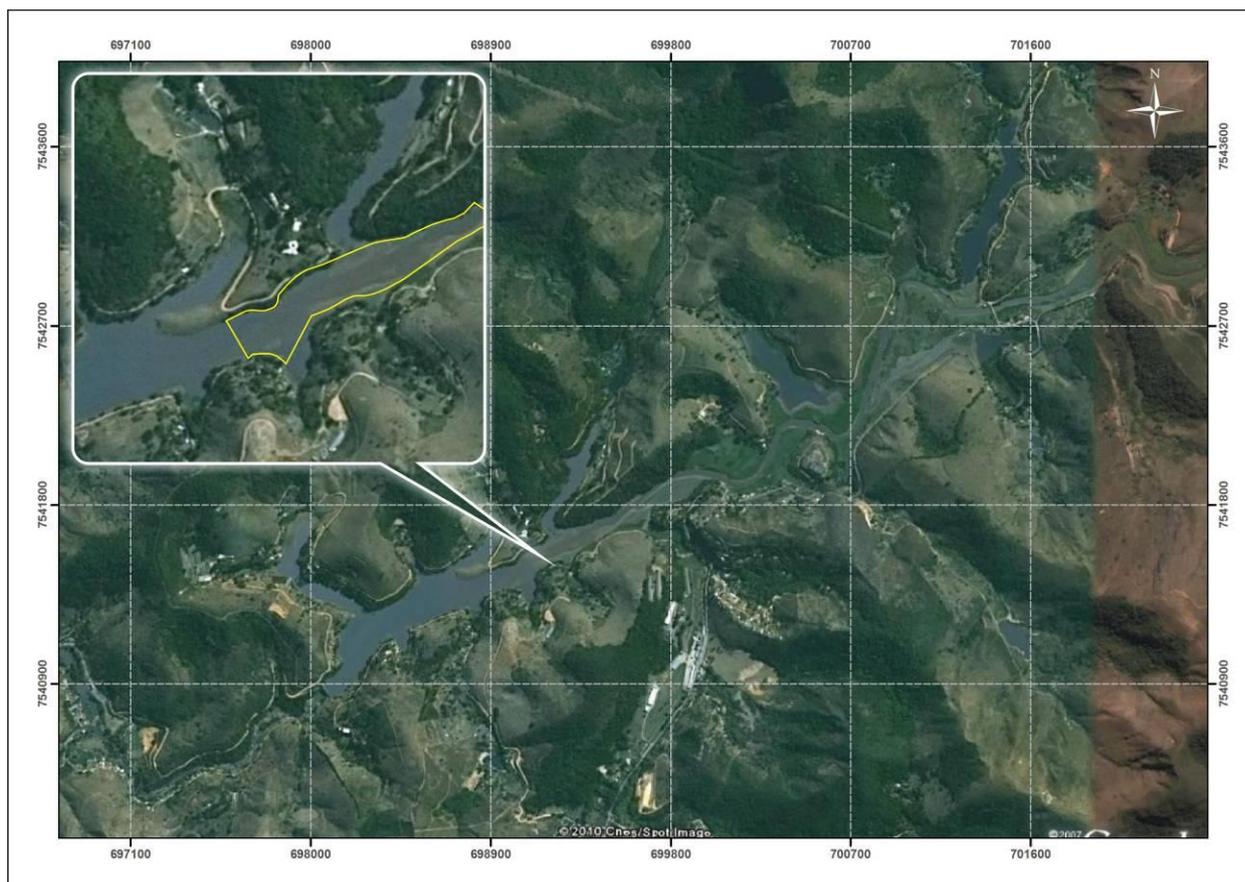


Figura A4.24 – Delta do reservatório da UHE Areal na bacia do rio Piabanha.

Trecho entre as estações Anta e Itaocara:

Esse trecho, devido ao seu posicionamento na bacia e à declividade de seu leito (a maior da bacia), pode ser caracterizado como de transporte. De fato, com pequeno incremento percentual na área de drenagem da bacia, o volume do aporte de sedimento a montante é praticamente igual ao volume de saída a jusante, indicando um equilíbrio no balanço de massas. Além disso, a ausência de depósitos de sedimentos nas cabeceiras do reservatório da UHE Ilha dos Pombos, construída na década de 1920 (Figura A4.25), sugere que a componente de descarga em suspensão deve prevalecer sobre a descarga por arraste. Destaca-se que a eficiência de retenção desse reservatório é praticamente nula, além de que o arranjo geral da barragem e da tomada de água facilita o fluxo de sedimentos para jusante. Mesmo assim, caso a componente de descarga de arraste fosse significativa, haveria algum depósito em forma de delta na cabeceira do reservatório, com o acúmulo do material de granulometria mais grossa.

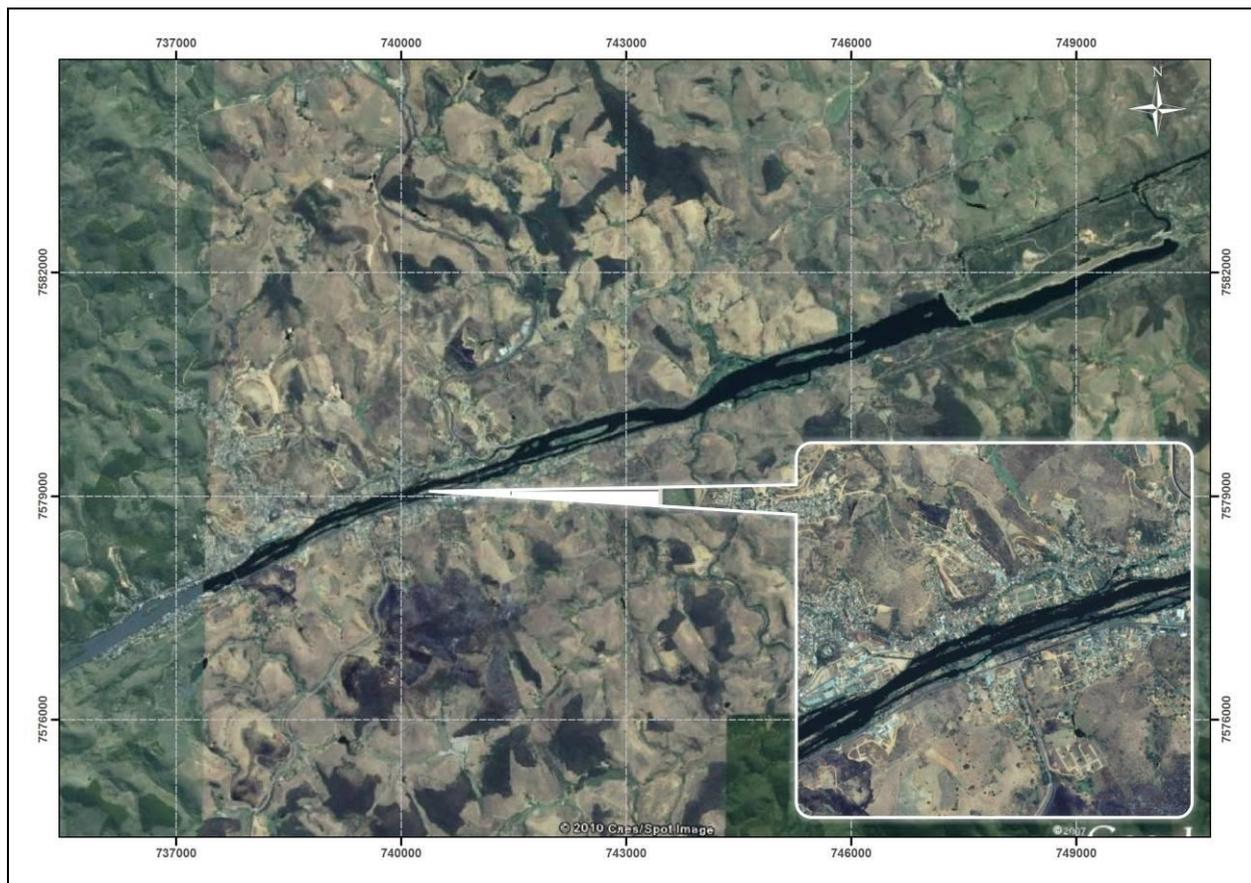


Figura A4.25 – Ausência de delta no reservatório da UHE Ilha dos Pombos, no rio Paraíba do Sul.

Trecho entre as estações Itaocara e Campos:

Nesse trecho deságuam os dois maiores afluentes do rio Paraíba do Sul: rios Pomba e Muriaé. Também nesse trecho ocorre a transição do médio curso do rio Paraíba do Sul para o baixo curso, na altura da cidade de São Fidélis, iniciando uma franca zona de deposição.

O aporte médio anual de descarga sólida dos dois afluentes é da ordem de 600.000 ton, embora a estação de monitoramento de jusante (Campos) não registre o aumento. De fato, o aumento diferencial com a estação de montante (Itaocara) é inferior a 100.000 ton/ano, podendo indicar: **(i)** inconsistência nos dados ou **(ii)** desequilíbrio causado pela zona de deposição.

Também ao longo da calha do rio Pomba aparece uma inconsistência, com significativa redução da descarga sólida entre os pontos de monitoramento de montante (Cataguases) e o de jusante (Santo Antônio de Pádua). Em parte, a diferença pode estar associada aos portos de extração de areia existentes no trecho, na divisa dos municípios de Leopoldina e Laranjal. Eventualmente, o problema pode ser devido aos distintos comprimentos de histórico de medição de sedimentos entre as duas estações de monitoramento. Caso os dados estejam consistentes, o não fechamento da continuidade da descarga sólida no trecho (maior aporte entrando a montante em relação à saída, a jusante) pode indicar que, no período de monitoramento, houve uma efetiva deposição de sedimentos no baixo curso do rio Paraíba do

Sul. Observando a Figura A4.14, fica evidente a formação de depósitos de sedimentos a jusante de São Fidélis.

Ao longo da calha do rio Pomba, há uma tendência de redução do transporte sólido, em razão das usinas hidrelétricas implantadas na bacia terem reservatórios com eficiência de retenção acima de 50%. Na Figura A4.26 pode ser visualizado o depósito de sedimentos na cabeceira do reservatório da UHE Maurício, implantada no rio Novo.

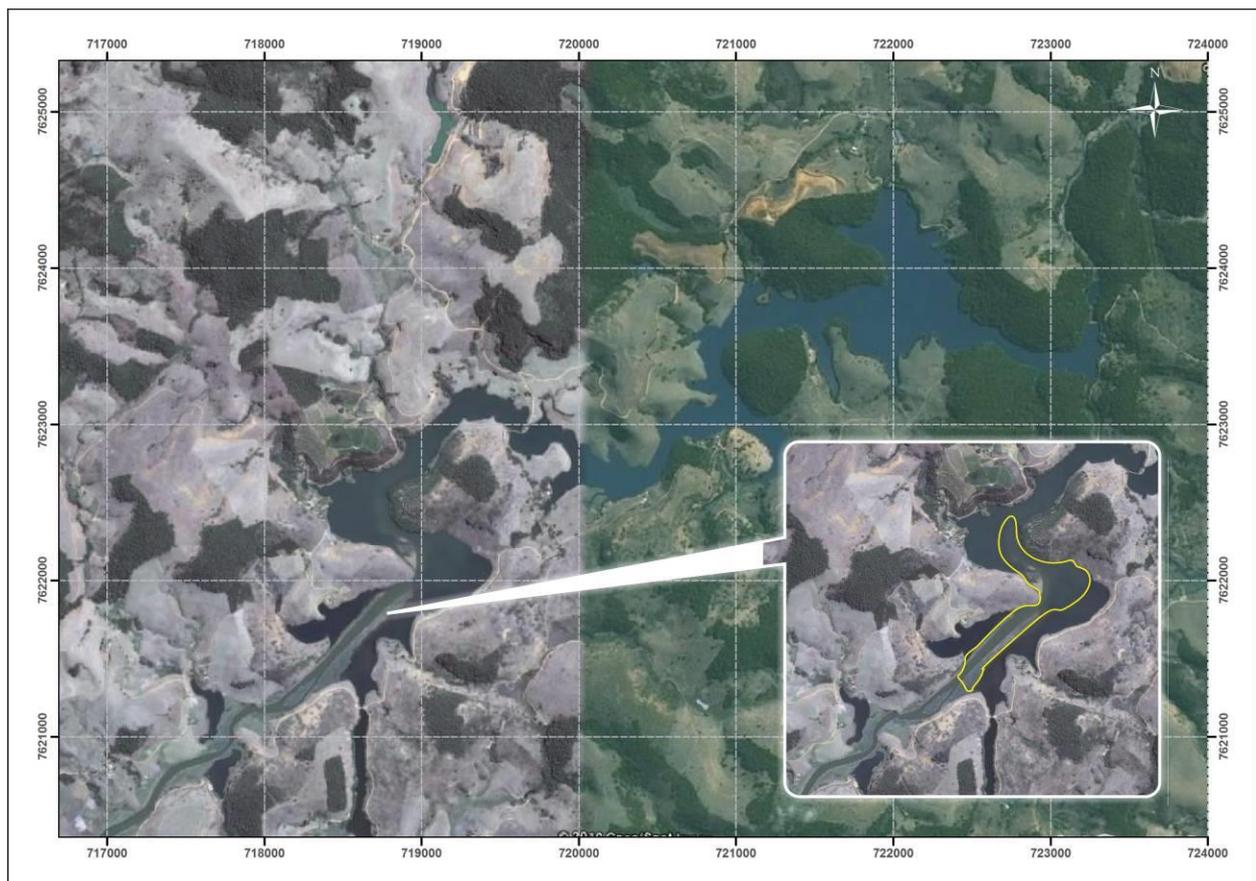


Figura A4.26 – Depósito de sedimentos no reservatório da PCH Nova Maurício, na bacia do rio Pomba.

A.4.6. CONCLUSÕES

As conclusões sintetizadas nesse Item permitem elaborar o efetivo diagnóstico do transporte sólido na bacia do rio Paraíba do Sul. Obviamente, o diagnóstico fica limitado pela disponibilidade dos dados de monitoramento de sedimentos, baseados apenas nas medições da concentração do material em suspensão. Não existem dados de medições de descarga de fundo (arraste), tendo sido adotada a relação determinada para a estação de monitoramento do rio Paraíba em Juiz de Fora, com extrapolação para toda a bacia (Referência: “Diagnóstico Sedimentológico dos Principais Rios Brasileiros”, ELETROBRÁS, 1992). A relação básica estabelece que $Q_{SA}=Q_{ST}/3$, ou seja, a descarga sólida por arraste corresponde a 1/3 da descarga sólida total.

Em termos qualitativos, a bacia do rio Paraíba do Sul apresenta um potencial de geração de sedimentos relativamente elevado, função das características geológicas, de relevo e dos fatores de uso e ocupação do solo. Particularmente, as bacias dos afluentes da margem esquerda (rios Paraibuna, Pomba e Muriaé) apresentam domínios de rochas granitóides com quartzo, em encostas íngremes, bastante favoráveis à geração de sedimentos arenosos (Figura A4.10).

A distribuição longitudinal dos sedimentos pode ser analisada a partir das informações sintetizadas nas Figuras A4.21 e A4.22 e na Tabela A4.3. Observa-se que os reservatórios implantados na bacia, com elevada capacidade de retenção, alteram o comportamento esperado de produção específica de sedimentos, ocorrendo um aumento dos valores unitários no sentido de montante para jusante. Em termos globais, comparativamente com outras bacias brasileiras e mesmo com valores médios mundiais, a bacia do rio Paraíba do Sul apresenta baixas taxas médias de transporte de sedimentos, principalmente ao longo do eixo do curso principal.

O trecho de rio onde serão implantados os empreendimentos AHE Itaocara I e AHE Itaocara II pode ser caracterizado como de transporte, com pouco aporte lateral de sedimentos. Aparentemente, prevalece nesse trecho a modalidade de transporte por suspensão, em vista da ausência de depósitos nas cabeceiras do reservatório da UHE Ilha dos Pombos. Essa constatação poderá alterar para maior as estimativas de vida útil dos reservatórios dos futuros aproveitamentos, além de indicar baixos impactos para jusante, devido à pouca ocorrência de material de leito. Valendo essa hipótese, pode-se adicionar a conclusão de que os sedimentos de fundo que, atualmente, modelam a morfologia do baixo curso do rio Paraíba do Sul, a jusante de São Fidélis, assim como o balanço na região da foz, são provenientes, em sua maioria, das bacias dos rios Pomba e Muriaé.

Na distribuição longitudinal dos sedimentos, não existe continuidade dos volumes transportados a jusante da cidade de Itaocara, pois a soma das descargas sólidas totais pelo rio Paraíba do Sul com as descargas dos principais afluentes no trecho (rios Pomba e Muriaé) apresenta-se inferior ao aporte na área do delta, registrado na estação de Campos. O volume total de sedimentos lançado pelo rio no oceano, com base nos dados de monitoramento e premissas de divisão das modalidades de transporte, foi calculado em cerca de 2.500.000 ton/ano.

Por meio da distribuição dos sedimentos ao longo do perfil longitudinal (Figuras A4.21 e A4.22), fica nítido o impacto da retenção exercida pelos reservatórios das cabeceiras da bacia (Barragens de Paraibuna/Paraitinga, Jaguari e Santa Branca), com o baixo valor da PES total calculado em 18,0 ton/km².ano. No sentido de jusante, após atravessar a região altamente urbanizada e industrializada entre São José dos Campos e Queluz, a PES total aumenta para 50,0 ton/km².ano, vindo a reduzir-se substancialmente para 23,0 ton/km².ano a jusante do reservatório da UHE Funil. A PES total volta a subir novamente, no sentido de jusante, até alcançar os valores máximos específicos no trecho de entrada dos afluentes rio Paraibuna (margem esquerda) e rio Piabanha (margem direita). Entretanto, mesmo a jusante do deságüe desses afluentes, na altura da cidade de Três Rios, não se nota a formação de depósitos de sedimentos na calha do rio Paraíba do Sul. Em todo o trecho de jusante, até a cidade de São

Fidélis, não são formados cones de dejeção nas estruturas geológicas de controle do escoamento, com depósitos de material arenoso.

No ponto de monitoramento existente a jusante da Estação Elevatória Santa Cecília (estação Piraí), não existe impacto aparente devido à derivação das descargas para abastecimento do sistema de reservatórios do Sistema LIGHT.

As análises focadas no delta do rio Paraíba do Sul indicaram que a morfologia da foz é controlada, em maior escala, pela deriva das ondas de sul e pela corrente dominante de nordeste, que provocam erosão na direção do Cabo de São Tomé (ao sul da foz), e pela bifurcação da calha menor, abrindo um canal recente na direção norte. Nesse diagnóstico, as erosões no pontal de Atafona estariam mais associadas a esse processo morfológico natural, antes de ser apenas consequência das intervenções promovidas pelas obras hidráulicas implantadas na bacia do rio Paraíba do Sul. Em grande parte, a descarga sólida do rio está sendo desviada pelo canal norte, dirigindo os depósitos de sedimentos em direção à praia de Gargaú.

Estudos anteriores relacionados à morfologia do delta do rio Paraíba do Sul indicaram que houve um aumento do pontal na foz na primeira metade do Século XX, causado pela intensa ocupação da bacia no período do Ciclo do Café e expansão da malha ferroviária na Zona da Mata Mineira. Além disso, a margem esquerda do pontal foi erodida e abriu-se um braço do rio na direção norte, a partir da década de 1940, reduzindo o aporte de sedimentos ao longo da margem direita, junto ao pontal de Atafona.

Nos últimos 40 anos, a implantação de grandes reservatórios de regularização na bacia reduziu o aporte de sedimentos na foz. Mesmo assim, fica nítida a deriva das águas do rio em direção ao norte, carreando parte da descarga sólida para a praia de Gargaú, podendo inclusive, no futuro, obstruir a saída do canal norte do rio Paraíba do Sul.

Como conclusão geral, os estudos geomorfológicos indicam que o processo de erosão na Praia de Atafona está mais relacionado aos fenômenos naturais da deriva das ondas de sul, potencializado pelo fato de uma parcela substancial da descarga sólida carregada pelo rio estar sendo direcionada na direção oposta, ao longo do eixo do canal norte, aberto naturalmente nos últimos 50 anos. Assim, o processo de erosão é irreversível e natural, não se devendo, exclusivamente, à retenção de sedimentos nos reservatórios e à derivação de vazões da bacia.

B. CÁLCULO DA VIDA ÚTIL DOS RESERVATÓRIOS

B1. INTRODUÇÃO

Esse capítulo tem a finalidade de apresentar o cálculo da vida útil dos reservatórios dos AHEs Itaocara I e Itaocara II, reproduzindo, na íntegra, os estudos de assoreamento feitos na etapa de Projeto Básico, que resultaram nos cálculos da capacidade de retenção de sedimentos dos reservatórios e na evolução dos depósitos ao longo do reservatório. Os estudos foram feitos com aplicação do Método de Redução Empírica de Área, recomendado pelo U.S. Bureau of Reclamation do Estados Unidos e adotado amplamente como critério de projeto, pelo setor elétrico brasileiro.

Os estudos levaram em consideração a criação do reservatório do AHE Simplício, com incorporação da respectiva capacidade de retenção de sedimentos. Desprezou-se, contudo, a influência do reservatório da UHE Ilha dos Pombos, em virtude de um presumido equilíbrio sedimentológico.

Ressalta-se que, para a determinação das descargas sólidas retidas nos reservatórios dos AHEs Simplício, Itaocara II e Itaocara I, foram realizadas simulações do assoreamento dos seus reservatórios utilizando o método de Churchill. Os resultados obtidos mostram que a retenção de sedimentos nesses reservatórios se dá a uma taxa aproximadamente constante ao longo das primeiras décadas. Dessa forma, para o cálculo da vida útil do AHE Itaocara I, localizado mais a jusante, assumiu-se que as eficiências de retenção do AHE Simplício e do AHE Itaocara II, iguais a 55% 16%, respectivamente.

Além disso, na determinação da granulometria do sedimento total, considerou-se o sedimento de arrasto como 5% do sedimento em suspensão. Este percentual é inferior ao valor adotado anteriormente nas análises feitas para o presente estudo, embora possa ser perfeitamente plausível, em razão da existência dos reservatórios a montante, que retêm grande parcela do material de fundo.

B2. CÁLCULO DO VOLUME DE ASSOAREAMENTO E DA VIDA ÚTIL DO RESERVATÓRIO DO AHE ITAOCARA I

A análise granulométrica dos sedimentos transportados em suspensão e arrasto pelo rio Paraíba do Sul, realizada pela Cohidro e pela LIGHT, a partir de medições de descarga sólida executadas no posto Itaocara II Formiga Montante e Itaocara Jusante, apresentou os valores médios mostrados na Tabela B2.1.

Tabela B2.1 – Granulometria média dos sedimentos

Sedimento	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)
Suspensão	44,93	50,67	4,40
Fundo (arrasto)	0,00	0,00	100,00

Total	42,68	48,14	9,18
-------	-------	-------	------

O peso específico aparente inicial do sedimento foi calculado segundo as equações B2.1 e B2.2 (Lara e Pemberton apresentado por Strand, 1974):

$$\gamma_i = W_c \cdot p_c + W_m \cdot p_m + W_s \cdot p_s \quad (\text{Equação B2.1})$$

$$K = K_c \cdot p_c + K_m \cdot p_m + K_s \cdot p_s \quad (\text{Equação B2.2})$$

onde:

- γ_i = peso específico aparente inicial do depósito de sedimentos (ton/m³);
- c, m, s = índices representativos das faixas granulométricas correspondentes a silte, argila e areia, respectivamente;
- W = peso específico inicial, tabelado segundo a faixa granulométrica e o tipo de operação do reservatório;
- K = constante de compactação tabelada (Tabela B2.2);
- p = frações médias de argila, silte e areia presentes no depósito de sedimento;

Considerando que o reservatório do AHE Itaocara I terá uma operação do “Tipo 1 – Sedimento sempre ou quase sempre submerso”, segundo os critérios de Strand, 1974, e que para este tipo de reservatório os valores de W_i e K_i são os indicados na Tabela B2.2, a seguir, essas equações resultam em:

$$\gamma_i = 0,86 \text{ ton/m}^3;$$

$$K = 0,15334$$

Tabela B2.2 – Constantes W_i e K_i para cálculo do peso específico aparente (Strand, 1974).

Argila		Silte		Areia	
Wc	Kc	Wm	Km	Ws	Ks
0,416	0,2563	1,121	0,0913	1,554	0

Nota: Reservatórios com operação do “Tipo 1 – Sedimento sempre ou quase sempre submerso”.

O peso específico médio das várias camadas de sedimentos depositadas ao longo do tempo (γ_T) varia conforme as idades dessas camadas e pode ser estimado pela equação B2.3, apresentada a seguir:

$$\gamma_T = \gamma_i + 0,4343 \cdot K \left(\frac{T}{T-1} \cdot \ln T \right) \quad (\text{Equação B2.3})$$

onde:

T = tempo de operação do reservatório (anos).

Na simulação do assoreamento dos reservatórios em estudo foi empregada a equação B2.4, apresentada a seguir:

$$S = \frac{365 \cdot Q_{st} \cdot E_r}{y_t} \quad (\text{Equação B2.4})$$

onde:

- S = Volume de sedimento retido no reservatório (m³/ano);
- Q_{ST} = Descarga sólida total média afluyente ao reservatório (ton/dia);
- E_r = Eficiência de retenção do reservatório;
- γ_T = Peso específico aparente médio dos depósitos (ton/m³);

Para a obtenção dos valores da eficiência de retenção E_r utilizou-se a curva de Churchill, em decorrência dos resultados dos estudos de Borland ("River Mechanics", Water Resources Publications, Fort Collins, Colorado, 1971), que indicaram que essa curva conduz a melhores resultados que a Curva de Brune.

A Figura B2.1 representa essa curva, adaptada para unidades métricas.

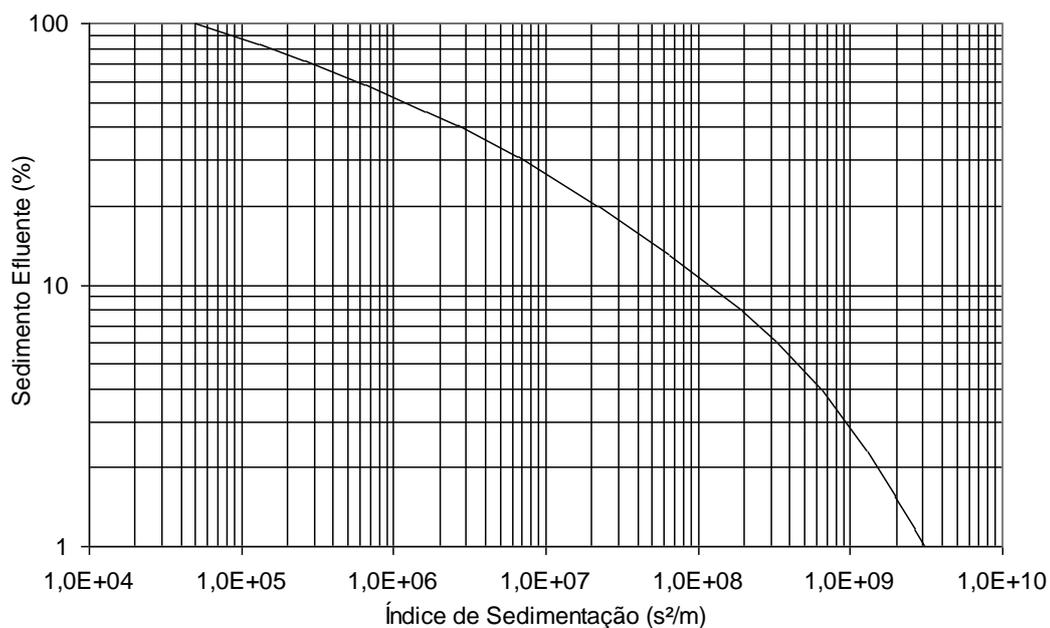


Figura B2.1 – Curva de Churchill.

Dessa forma, foram determinados os índices de sedimentação (IS), empregando-se a equação B2.5, apresentada a seguir:

$$IS = \frac{V^2}{Q^2 \cdot L} \quad \text{(Equação B2.5)}$$

onde:

V = volume do reservatório = variável com o tempo;

Q = vazão média afluente;

L = comprimento do reservatório.

Esses dados, relativos aos reservatórios considerados, são apresentados na Tabela B2.3.

Tabela B2.3 – Dados para a simulação do assoreamento.

Reservatório	Volume inicial do Reservatório (m ³)	Vazão média Afluente (m ³ /s)	Comprimento (m)
AHE Simplício	83,8 x 10 ⁶	395	17.500
AHE Itaipara II	28,6 x 10 ⁶	432	22.248
AHE Itaipara I	412,8 x 10 ⁶	448	23.759

Nota: Dados do AHE Simplício extraídos do relatório do respectivo Projeto Básico (FURNAS, 2006).

A Tabela B2.4 apresenta as estimativas das variáveis envolvidas no processo de simulação do assoreamento para diversos anos de operação do reservatório do AHE Itaipara I.

A Figura B2.2 permite visualizar a diminuição da capacidade do reservatório devido ao processo de assoreamento.

Tabela B2.4 – Simulação do assoreamento do reservatório do AHE Itaocara I

Ano		Índice de Sedimentação (s ² /m)	Sedimento Efluente (%)	Sedimento retido (ton)	Sedimento retido acumulado (ton)	Peso específico (ton/m ³)	Volume final (hm ³)	
Início	Fim						Assoreado	Disponível
0	10	3,60E+07	16,93	11.573.392	11.573.392	1,040	11,13	401,63
10	20	3,41E+07	17,17	11.539.787	23.113.179	1,075	21,51	391,25
20	30	3,23E+07	17,40	11.508.355	34.621.534	1,096	31,58	381,18
30	40	3,07E+07	17,62	11.477.774	46.099.308	1,112	41,46	371,30
40	50	2,91E+07	17,83	11.447.772	57.547.080	1,124	51,18	361,58
50	60	2,76E+07	18,04	11.418.236	68.965.316	1,135	60,78	351,98
60	70	2,62E+07	18,25	11.389.112	80.354.428	1,144	70,27	342,49
70	80	2,48E+07	18,46	11.360.374	91.714.802	1,151	79,66	333,10
80	90	2,34E+07	18,66	11.332.012	103.046.813	1,158	88,98	323,78
90	100	2,22E+07	18,86	11.304.024	114.350.837	1,164	98,21	314,55
100	110	2,09E+07	19,13	11.266.975	125.617.812	1,170	107,36	305,40
110	120	1,97E+07	19,52	11.212.166	136.829.978	1,175	116,42	296,34
120	130	1,86E+07	19,93	11.155.155	147.985.133	1,180	125,38	287,38
130	140	1,75E+07	20,36	11.095.790	159.080.923	1,185	134,25	278,51
140	150	1,64E+07	20,80	11.033.909	170.114.832	1,189	143,03	269,73
150	160	1,54E+07	21,27	10.969.341	181.084.173	1,194	151,72	261,04
160	170	1,44E+07	21,75	10.901.903	191.986.076	1,198	160,31	252,45
170	180	1,35E+07	22,26	10.831.397	202.817.473	1,201	168,81	243,95
180	190	1,26E+07	22,79	10.757.613	213.575.085	1,205	177,21	235,55
190	200	1,17E+07	23,34	10.680.323	224.255.408	1,209	185,52	227,24
290	300	5,23E+06	30,73	9.650.877	325.836.183	1,241	262,55	150,21
390	400	1,84E+06	43,43	7.880.979	413.395.134	1,273	324,68	88,08
490	500	5,14E+05	63,89	5.030.490	477.373.413	1,302	366,55	46,21
590	600	1,73E+05	82,71	2.409.380	511.911.232	1,329	385,19	27,57
690	700	1,11E+05	89,34	1.484.735	529.900.337	1,358	390,10	22,66
790	800	9,51E+04	91,40	1.197.810	543.013.291	1,386	391,69	21,07
890	900	8,29E+04	93,13	956.798	553.646.533	1,408	393,09	19,67
990	1000	7,35E+04	94,55	758.801	562.082.306	1,426	394,21	18,55
1990	2000	4,79E+04	98,91	152.258	596.270.869	1,499	397,72	15,04
2990	3000	4,43E+04	99,57	60.033	605.824.688	1,521	398,28	14,48
3990	4000	4,33E+04	99,78	31.100	610.140.510	1,531	398,45	14,31

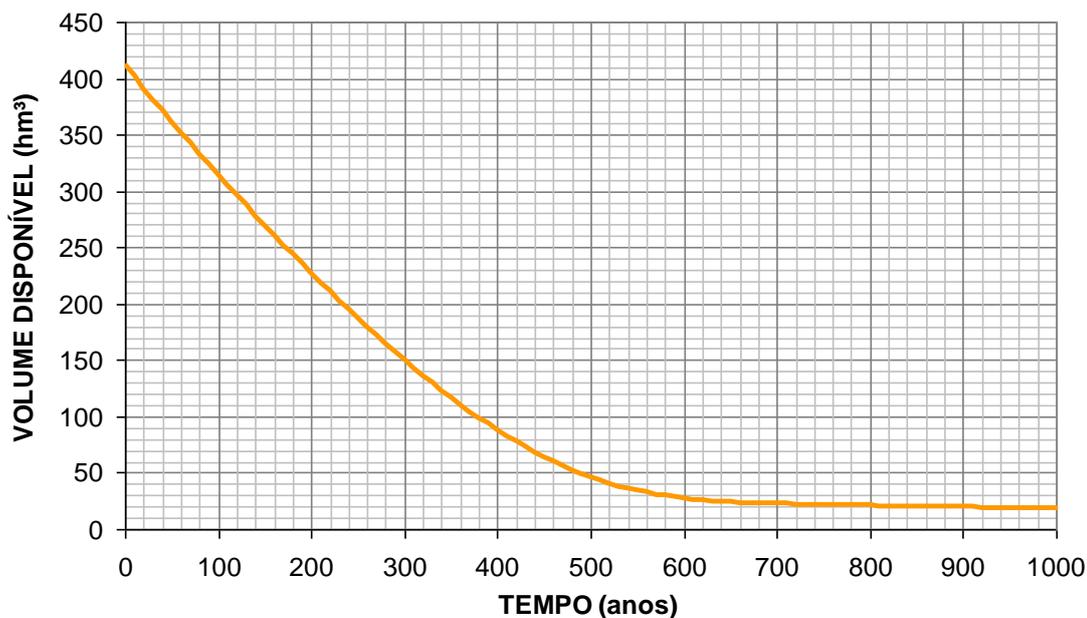


Figura B2.2 – Redução do volume do reservatório do AHE Itaipava I pelo assoreamento.

Para estimar a evolução dos depósitos de sedimentos no pé da barragem, foram realizadas simulações matemáticas de transporte de sedimentos pelo reservatório do empreendimento, a partir do programa HEC-6, desenvolvido pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos. A Tabela B2.5 reúne as alturas desses depósitos para diversos tempos de operação do empreendimento, enquanto a Figura B2.3 relaciona esses dados.

Tabela B2.5 – Altura dos depósitos no pé da barragem.

Tempo de Operação (anos)	Altura do Depósito (m)
0	0,00
5	0,12
10	0,34
15	0,46
20	0,58
25	0,64
30	0,75

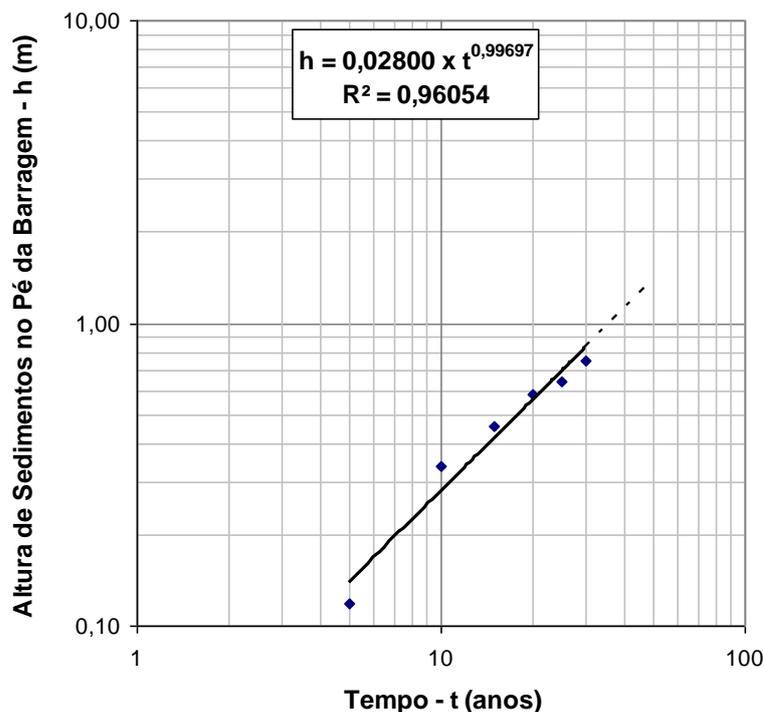


Figura B2.3 – Evolução da altura de sedimentos no pé da barragem do AHE Itaipara I

A partir da relação estabelecida na Figura B2.3 foi estimada a altura de sedimentos no pé da barragem, para um assoreamento de 50 anos e sua correspondente altitude, para o reservatório estudado. A Tabela B2.6 apresenta esse resultado e outros dados de interesse.

Tabela B2.6 – Dados e resultados do estudo de distribuição dos sedimentos no reservatório.

Discriminação	Valor
Cota do pé da barragem (m)	60,00
Altura de sedimentos (m)	1,38
Cota dos sedimentos no pé da barragem (m)	61,38
Cota da Soleira do Canal de Aproximação da Tomada de Água (m)	73,00

A análise conjugada da cota de sedimentos no pé da barragem após 50 anos de operação com a cota da soleira do canal de aproximação da Tomada d'Água permite concluir que o AHE Itaipara I deverá operar sem problemas sedimentológicos durante mais de 50 anos.

Conseqüentemente, não é de se esperar que o processo de sedimentação do reservatório venha a ocasionar problemas operacionais para a Tomada d'Água do aproveitamento, durante sua vida útil. Apesar disso, recomenda-se a realização de levantamentos topobatimétricos após decorridos cerca de 10 anos da implantação do reservatório. Em função dos resultados obtidos, deverão ser programados novos levantamentos, tudo visando o monitoramento da real evolução do assoreamento.

B3. CÁLCULO DO VOLUME DE ASSOAREAMENTO E DA VIDA ÚTIL DO RESERVATÓRIO DA AHE ITAOCARA II

A metodologia e os parâmetros empregados no cálculo do volume de assoreamento e da vida útil do reservatório da AHE Itacara II foram os mesmos adotados para o AHE Itacara I, apresentado no item anterior. A seguir são apresentados apenas os resultados obtidos.

A Tabela B3.1 apresenta as estimativas das variáveis envolvidas no processo de simulação do assoreamento para diversos anos de operação do reservatório do AHE Itacara II. A Figura B3.1 permite visualizar a diminuição da capacidade do reservatório devido ao processo de assoreamento.

Tabela B3.1 – Simulação do assoreamento do reservatório do AHE Itacara II.

Ano		Índice de Sedimentação (s ² /m)	Sedimento Efluente (%)	Sedimento retido (ton)	Sedimento retido acumulado (ton)	Peso específico (ton/m ³)	Volume final (hm ³)	
Início	Fim						Assoreado	Disponível
0	10	1,96E+05	80,61	3.036.737	3.036.737	1,359	2,24	26,32
10	20	1,67E+05	83,24	2.623.818	5.660.555	1,384	4,09	24,47
20	30	1,44E+05	85,52	2.268.104	7.928.659	1,405	5,64	22,92
30	40	1,26E+05	87,47	1.961.989	9.890.649	1,424	6,95	21,61
40	50	1,12E+05	89,14	1.700.932	11.591.581	1,443	8,03	20,53
50	60	1,01E+05	90,55	1.480.094	13.071.674	1,462	8,94	19,62
60	70	9,27E+04	91,73	1.294.452	14.366.127	1,477	9,73	18,83
70	80	8,54E+04	92,77	1.132.679	15.498.806	1,487	10,42	18,14
80	90	7,92E+04	93,67	990.661	16.489.467	1,496	11,02	17,54
90	100	7,40E+04	94,47	866.422	17.355.889	1,502	11,55	17,01
100	110	6,96E+04	95,16	757.968	18.113.856	1,508	12,02	16,54
110	120	6,59E+04	95,76	663.406	18.777.263	1,512	12,42	16,14
120	130	6,27E+04	96,29	581.002	19.358.265	1,516	12,77	15,79
130	140	6,00E+04	96,75	509.198	19.867.463	1,519	13,08	15,48
140	150	5,77E+04	97,15	446.613	20.314.076	1,521	13,35	15,21
150	160	5,57E+04	97,50	392.039	20.706.115	1,524	13,59	14,97
160	170	5,40E+04	97,80	344.419	21.050.533	1,526	13,80	14,76
170	180	5,25E+04	98,07	302.838	21.353.371	1,528	13,98	14,58
180	190	5,12E+04	98,30	266.501	21.619.872	1,529	14,14	14,42
190	200	5,01E+04	98,50	234.723	21.854.595	1,531	14,28	14,28
200	210	4,91E+04	98,68	206.909	22.061.504	1,532	14,40	14,16
210	220	4,83E+04	98,83	182.545	22.244.049	1,533	14,51	14,05
220	230	4,75E+04	98,97	161.187	22.405.235	1,534	14,61	13,95
230	240	4,69E+04	99,09	142.450	22.547.685	1,535	14,69	13,87
240	250	4,63E+04	99,20	126.000	22.673.685	1,536	14,76	13,80
250	260	4,58E+04	99,29	111.548	22.785.233	1,537	14,83	13,73
260	270	4,54E+04	99,37	98.843	22.884.075	1,537	14,89	13,67

270	280	4,50E+04	99,44	87.666	22.971.741	1,538	14,94	13,62
280	290	4,47E+04	99,50	77.827	23.049.568	1,539	14,98	13,58
290	300	4,44E+04	99,56	69.160	23.118.728	1,539	15,02	13,54
300	310	4,41E+04	99,61	61.521	23.180.249	1,540	15,05	13,51
310	320	4,39E+04	99,65	54.784	23.235.032	1,540	15,08	13,48
320	330	4,37E+04	99,69	48.838	23.283.871	1,541	15,11	13,45
330	340	4,35E+04	99,72	43.588	23.327.459	1,541	15,14	13,42
340	350	4,34E+04	99,75	38.949	23.366.409	1,542	15,16	13,40
350	360	4,33E+04	99,78	34.848	23.401.257	1,542	15,17	13,39
360	370	4,31E+04	99,80	31.219	23.432.476	1,542	15,19	13,37
370	380	4,30E+04	99,82	28.007	23.460.482	1,543	15,21	13,35
380	390	4,29E+04	100,00	0	23.460.482	1,543	15,21	13,35

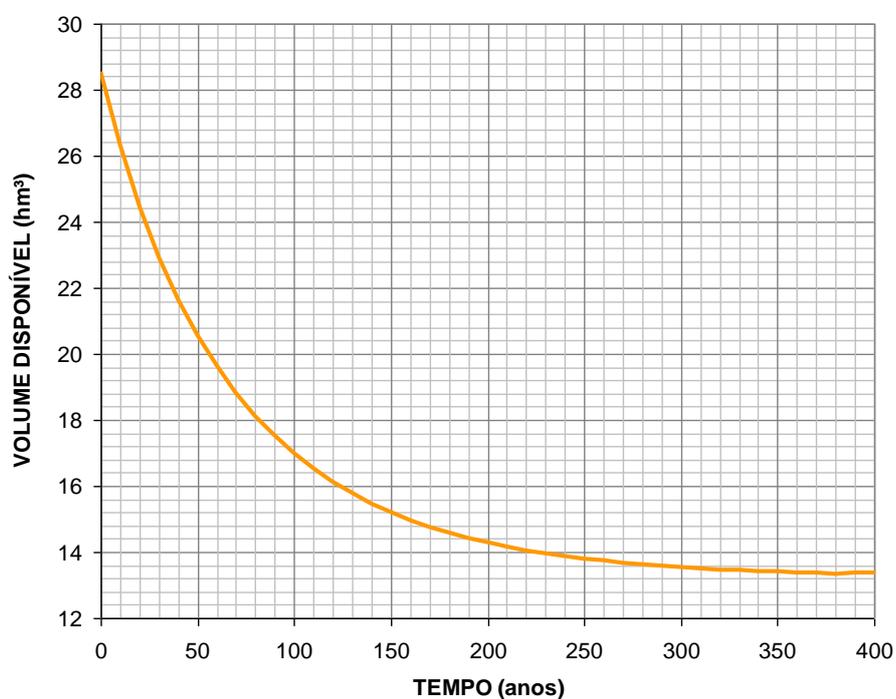


Figura B3.1 – Redução do volume do reservatório do AHE Itaocara II pelo assoreamento.

A Tabela B3.2 reúne as alturas dos depósitos para diversos tempos de operação do empreendimento, enquanto a Figura B3.2 relaciona esses dados.

Tabela B3.2 – Altura dos depósitos no pé da barragem.

Tempo de Operação (anos)	Altura do Depósito (m)
0	0,00
5	0,05
10	0,17
15	0,23
20	0,29
25	0,31
30	0,36

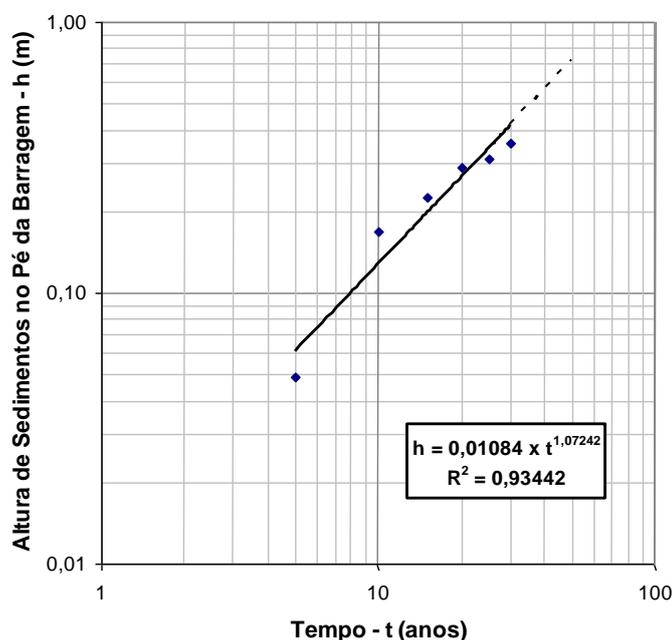


Figura B3.2 – Evolução da altura de sedimentos no pé da barragem do AHE Itaipara II.

A Tabela B3.3 apresenta os resultados da estimativa de sedimentos no pé da barragem, para um assoreamento de 50 anos e sua correspondente altitude, para o reservatório estudado e outros dados de interesse.

Tabela B3.3 – Dados e resultados do estudo de distribuição dos sedimentos no reservatório.

Discriminação	Valor
Cota do pé da barragem (m)	86,00
Altura de sedimentos (m)	0,72
Cota dos sedimentos no pé da barragem (m)	86,72
Cota da Soleira da Tomada de Água (m)	76,00

C. PROGNÓSTICO SEDIMENTOLÓGICO

C1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Esse capítulo tem a finalidade de realizar o prognóstico sedimentológico, resultado da combinação do diagnóstico e do cálculo da eficiência de retenção dos reservatórios dos AHEs Itaocara I e Itaocara II, associado à análise prospectiva de possíveis impactos no equilíbrio morfológico no trecho fluvial a jusante dos aproveitamentos.

São feitas considerações a respeito dos estudos apresentados nos itens anteriores e nos estudos de Projeto Básico, enfatizando a convergência de ambos a respeito da supressão sedimentar de material de arraste imposta pela alta densidade de reservatórios na bacia do rio Paraíba do Sul.

Reportando-se aos capítulos anteriores, pode-se notar que as premissas de composição da descarga sólida total (descarga de fundo + descarga em suspensão) tiveram valores diferentes nos contextos do diagnóstico e do cálculo da vida útil dos aproveitamentos.

O **diagnóstico** foi feito segundo a premissa de que a descarga de arraste teria a proporção $Q_{SA}=0,333*Q_{ST}$ em relação à descarga sólida total. Basicamente, qualquer outra relação diferente daquela adotada não alteraria as principais conclusões do diagnóstico, relacionadas à distribuição relativa das descargas sólidas ao longo do perfil longitudinal do rio Paraíba do Sul.

Já os **cálculos da vida útil** dos reservatórios, segundo os estudos de Projeto Básico, foram feitos dentro da premissa de que $Q_{SA}=0,05*Q_{ST}$. Em princípio, essa premissa parece mais adequada à condição vigente no trecho de rio onde os aproveitamentos serão construídos, visto que os indícios de poucos depósitos de sedimentos sugerem baixas taxas de transporte de arraste. Caso se adote essa relação para o rio Paraíba do Sul, em todo o trecho entre a UHE Funil e a estação de Itaocara, e a relação sugerida pelo diagnóstico da ELETROBRÁS ($Q_{SA}=0,333*Q_{ST}$) para os afluentes rios Pomba e Muriaé e todo o trecho do baixo rio Paraíba do Sul, a jusante de São Fidélis, a descontinuidade identificada no diagnóstico, para o trecho em questão, deixaria de existir.

De fato, pelos cálculos da vida útil do reservatório do AHE Itaocara II (Tabela 3.4), pode-se deduzir que a descarga sólida total inferida para o trecho seria da ordem de $Q_{ST}=1.500.000$ ton/ano, bastante inferior ao valor de $Q_{ST}=2.427.555$ ton/ano calculado no diagnóstico. Esse valor mais baixo, somado às contribuições de descargas sólidas dos rios Pomba e Muriaé, fecharia a continuidade na estação de monitoramento de Campos ($Q_{ST}=2.512.487$ ton/ano), agregando consistência ao longo de todo o perfil do rio Paraíba do Sul. Assim, o presente prognóstico foi feito com base nessa premissa, aparentemente mais realística.

Nessas condições, o diagnóstico ficaria assim revisado:

- Rio Paraíba do Sul a montante da foz do rio Pomba: $Q_{ST}=1.500.000$ ton/ano, sendo $Q_{SA}=0,05*Q_{ST}=75.000$ ton/ano;

- ❑ Rio Paraíba do Sul na foz no oceano: $Q_{ST}=2.512.487$ ton/ano, sendo $Q_{SA}=0,333*Q_{ST}=837.411$ ton/ano;
- ❑ A contribuição da descarga sólida de arraste do rio Paraíba do Sul, a montante de Itaocara, seria inferior a 10% da descarga sólida de arraste que aporta ao oceano.

Como prognóstico, pode-se considerar que o maior percentual de retenção que ocorrerá nos reservatórios dos AHEs Itaocara I e Itaocara II será da descarga de arraste (material de granulometria mais grossa). Entretanto, o material retido nos reservatórios não deverá causar impactos no processo de alteração morfológica da foz do rio Paraíba do Sul, pois o maior condicionante da erosão na praia de Atafona está associado à progressão do canal norte do rio Paraíba do Sul, na direção da praia de Gargaú.

Deve ser ressaltado que a metodologia adotada para o cálculo da vida útil dos reservatórios não diferencia os transportes de arraste e em suspensão, sendo processada apenas sobre a descarga sólida total. Como o maior percentual seria de material em suspensão (95%), o tempo de assoreamento real deverá ser bem maior.

C2. PROGNÓSTICO SEDIMENTOLÓGICO DO AHE ITAOCARA I

Com a cota no pé da barragem posicionada na El. 60,00 m, a cota da soleira do vertedouro El. 76,00 m, a cota da tomada de água na El. 73,00 m e prognóstico de vida útil indicando, após 50 anos de operação, o assoreamento alcançando a El. 61,38 m (como pode ser observado nas Figuras 2.1 a 2.3 e na Tabela 2.1), conclui-se que o empreendimento continuará a operar sem restrições por tempo indeterminado.

Em um horizonte de 50 anos de vida útil, foi previsto um assoreamento total de 70.000.000 m³, correspondendo a 17% do volume total do reservatório. Valendo as premissas de taxas de transporte de arraste feitas no item anterior ($Q_{SA}=75.000$ m³/ano), pode-se concluir que o reservatório do AHE Itaocara II deverá reter todo o material de granulometria mais grossa nesse período. Os dados resumidos na Tabela B2.6 mostram a posição dos depósitos de sedimentos em relação às cotas do fundo do reservatório e da soleira da tomada de água, indicando que o assoreamento não afetará o circuito hidráulico de geração. Ademais, a posição do vertedouro, junto ao canal de aproximação da tomada de água (Figuras C2.1 a C2.3), contribuirá para a remoção dos depósitos de sedimentos junto ao paramento de montante da barragem, no trecho de aproximação do circuito hidráulico de geração.

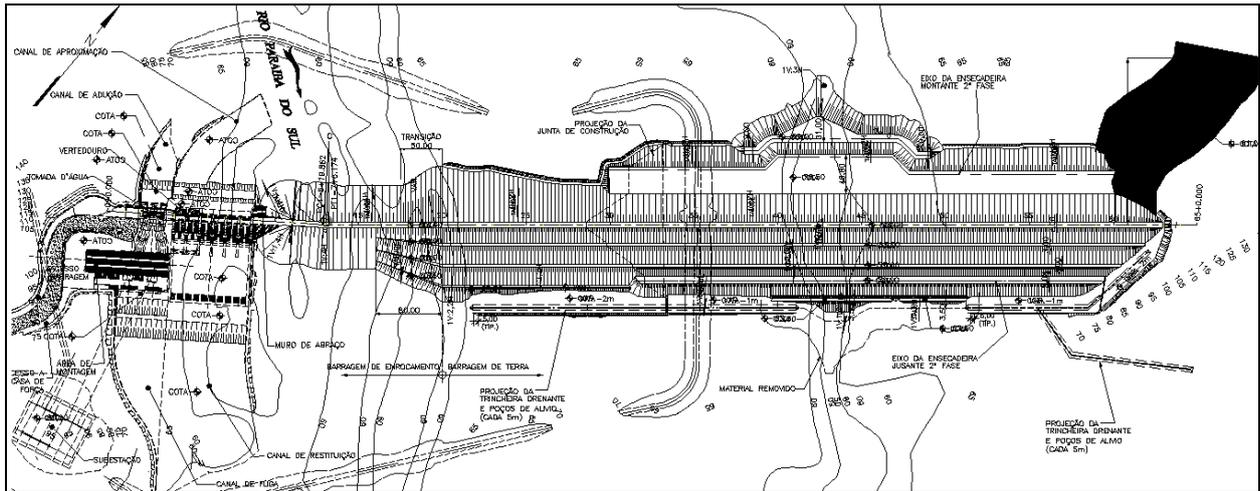


Figura C2.1 – Arranjo do AHE Itaocara I.

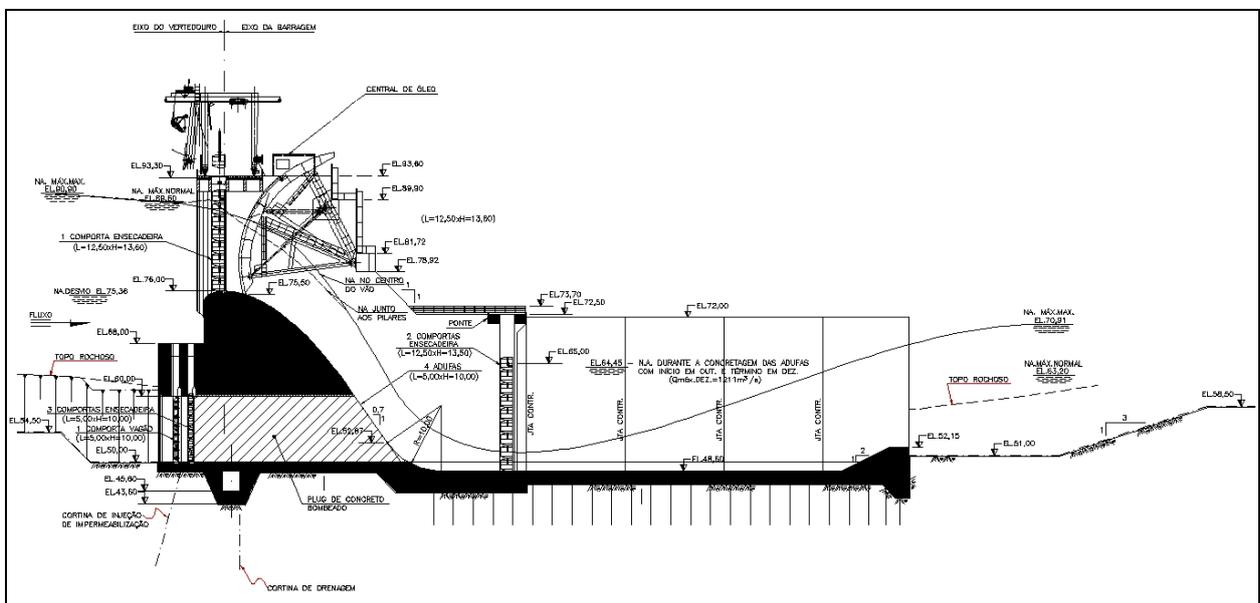


Figura C2.2 – Seção do vertedouro do AHE Itaocara I.

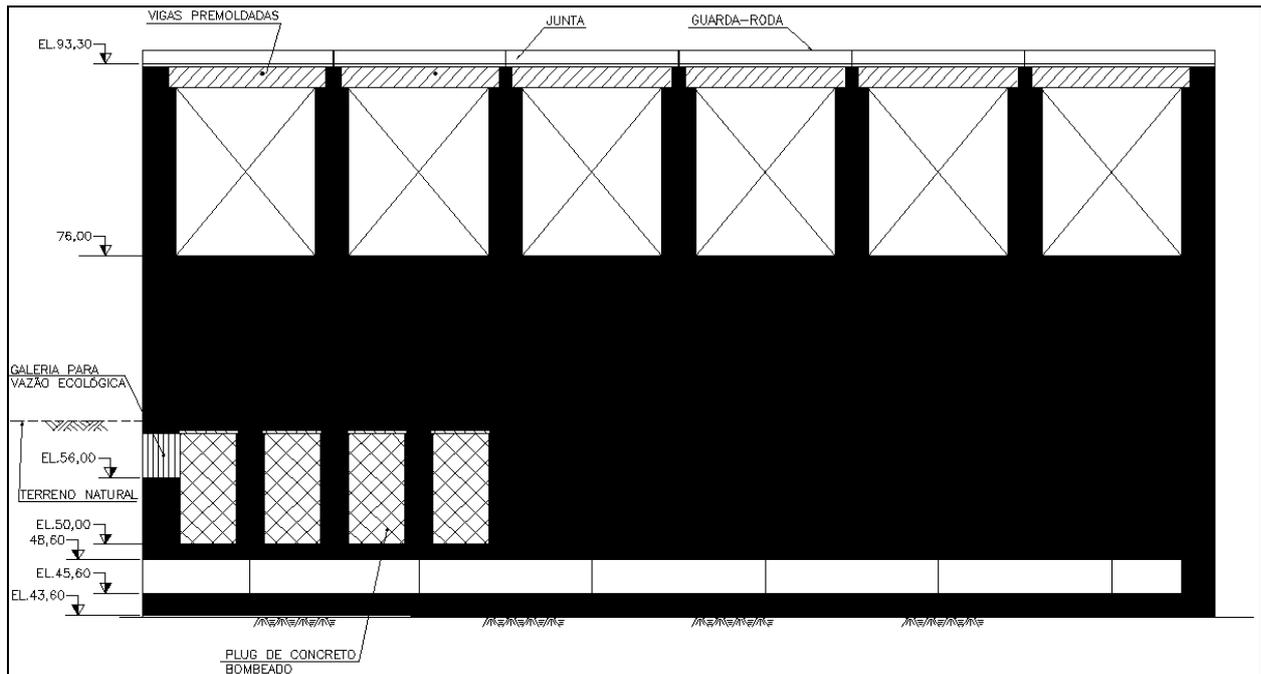


Figura C2.3 – Vista de montante do vertedouro do AHE Itaocara I.

C3. PROGNÓSTICO SEDIMENTOLÓGICO DO AHE ITAOCARA II

No horizonte de 50 anos de operação do reservatório, foi previsto o assoreamento de 13.000.000 m³, correspondente a 16% do volume total. Ao final desse período, a altura dos depósitos junto ao paramento de montante da barragem será de apenas 0,72 m (Tabela B3.3).

As Figuras C3.4 a C3.6 mostram o arranjo geral da barragem do AHE Itaocara I, podendo-se notar que o canal de aproximação da tomada de água será escavado em cotas inferiores ao fundo natural da calha do rio. Mesmo com essas cotas mais, o assoreamento não deverá prejudicar a operação da usina, devido ao arranjo do vertedouro ao lado da tomada de água.

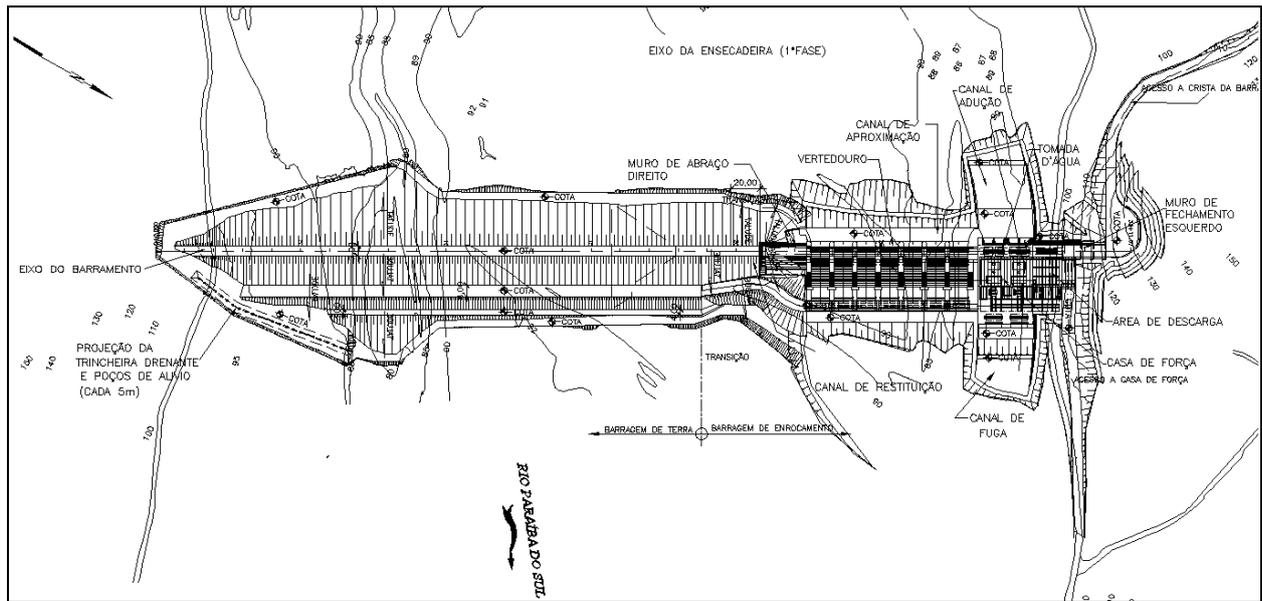


Figura C3.4 – Arranjo do AHE Itacara II.

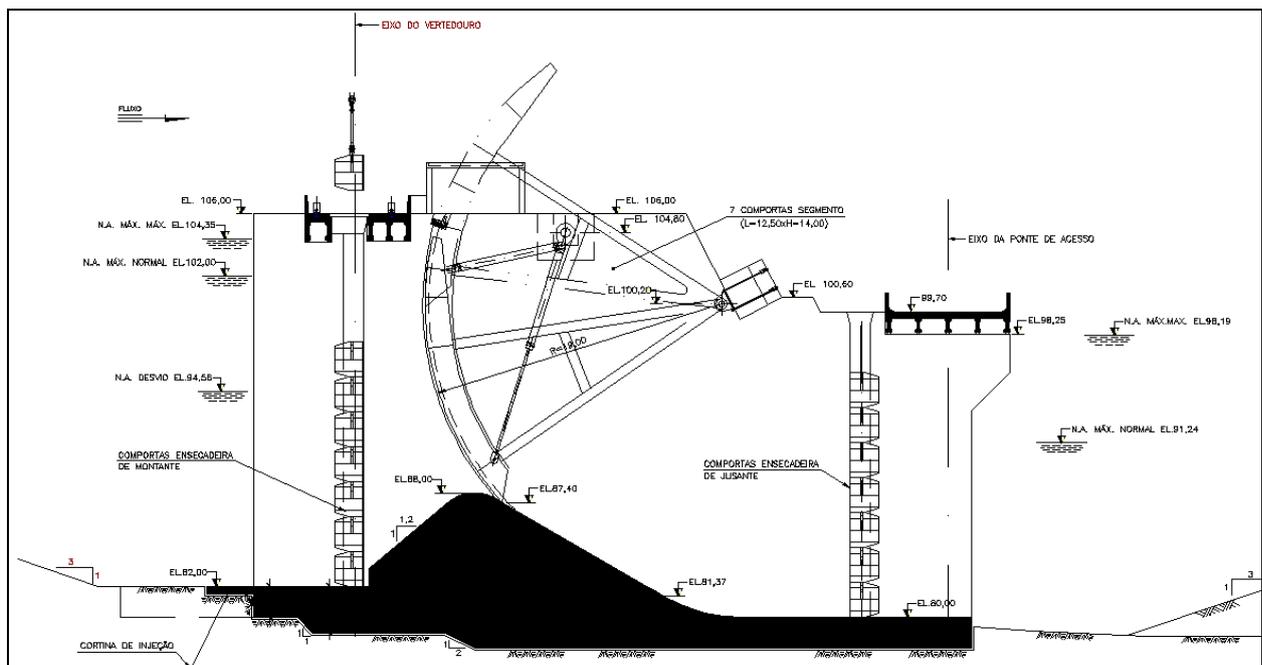


Figura C3.5 – Seção do vertedouro do AHE Itacara II.

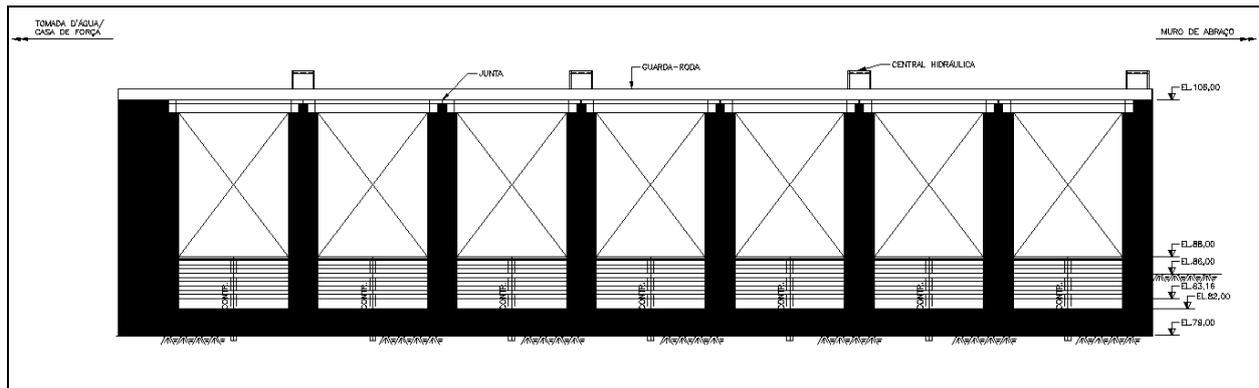


Figura C3.6 – Vista de montante do vertedouro do AHE Itaipu II.

C4. PROGNÓSTICO SEDIMENTOLÓGICO PARA O TRECHO DE JUSANTE

Considerando o horizonte de 50 anos para o prognóstico e as hipóteses de transporte sólido e eficiências de retenção apresentadas nos itens anteriores, deverá ocorrer uma redução de cerca de 55% da descarga sólida da bacia no trecho do baixo curso do rio Paraíba do Sul, representada pelo assoreamento dos reservatórios dos AHE's Itaipu I e Itaipu II.

Em termos do aporte de material arenoso ao trecho, o impacto será menos significativo, uma vez que a contribuição atual da bacia, a montante de Itaipu, é bastante pequena, com a descarga de arraste sendo inferior a 10% do total carreado para a foz. Recordando os valores estimados, têm-se as descargas de arraste de 75.000 ton/ano e 837.411 ton/ano, respectivamente nas estações de monitoramento de Itaipu e de Campos.

Se a modelagem da morfologia da foz estiver associada aos sedimentos de granulometria mais grossa, o processo de erosão no pontal de Atafona não sofreria alterações. Além disso, o diagnóstico do problema apontou, como causa principal da erosão do pontal, a derivação do canal do rio Paraíba do Sul em direção ao norte.

D. PROGRAMAS AMBIENTAIS

Os itens subseqüentes apresentam as atividades que compõem os programas ambientais de monitoramento hidrossedimentológico e de levantamento topobatimétrico dos reservatórios para subsidiar estudos futuros de prognóstico da dinâmica de sedimentos pelos reservatórios dos AHE's Itaipava I e II e estimativa da vida útil desses empreendimentos.

O monitoramento hidrossedimentológico tem o objetivo de acompanhar e quantificar a carga de sedimentos em suspensão e de arraste e caracterizar a granulometria desses sedimentos, inclusive do leito, do rio Paraíba do Sul, afluentes aos reservatórios do empreendimento e defluentes dos mesmos.

O programa de levantamento topobatimétrico dos reservatórios visa acompanhar o processo de assoreamento dos reservatórios, de formas tais a se conhecer a geometria da distribuição dos depósitos de sedimentos nos reservatórios e a variação temporal do volume desses depósitos.

D1. PROGRAMA DE MONITORAMENTO HIDROSSEDIMENTOLÓGICO

As informações obtidas por meio de um programa de monitoramento são fundamentais para o aprimoramento do conhecimento do regime hidrossedimentométrico da bacia hidrográfica na qual se inserem os empreendimentos, em especial no que se refere à carga de sedimento de arraste, cujas informações não são monitoradas pelas estações da ANA e são fundamentais para análises mais precisas do impacto dos aproveitamentos em questão sobre a dinâmica de sedimentos do rio Paraíba do Sul. De maneira mais específica, os dados coletados auxiliam diretamente na estimativa da carga de sedimentos em suspensão e de fundo (arraste) afluentes e defluentes aos reservatórios, fornecendo elementos necessários para estudos de avaliação do tempo de assoreamento dos mesmos e do prognóstico da dinâmica de sedimentos.

O monitoramento hidrossedimentométrico é realizado a partir de campanhas de medição de descarga líquida e sólida (em suspensão e arraste) e de leituras contínuas de níveis de água em estações hidrossedimentométricas instaladas em seções fluviais de interesse. As estações precisam ser instaladas a montante e a jusante dos AHE's Itaipava I e II, em locais adequados para este tipo de monitoramento, para se conhecer as descargas afluentes e defluentes aos reservatórios.

Devido à possibilidade de interferência dos níveis do reservatório da AHE Itaipava II com os níveis de água nas proximidades da saída do canal de fuga da UHE Ilha dos Pombos, recomenda-se que a estação de montante seja instalada nas proximidades da cidade de Além Paraíba, a montante do reservatório dessa usina e ainda fora do remanso do mesmo. Em relação à estação de jusante, recomenda-se a sua instalação nas proximidades da cidade de Itaipava. A localização das estações hidrossedimentométricas pode ser visualizada na Figura D1.1.

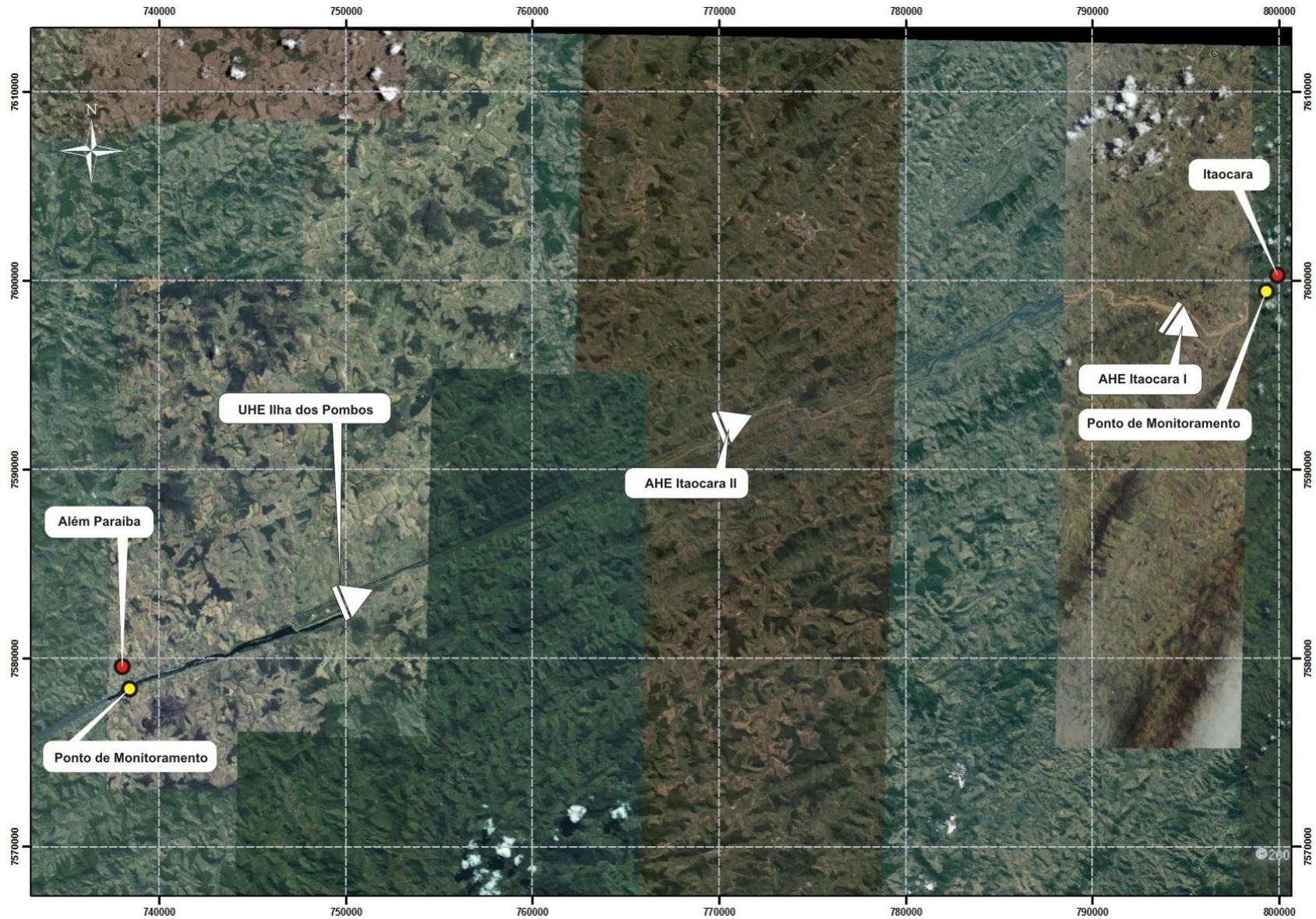


FIGURA D1.1 – Localização das estações hidrossedimentométricas sugeridas no programa de monitoramento.

O posicionamento desses dois pontos de monitoramento foi definido a partir de imagens de satélite e em função da proximidade em relação a áreas em que pode ser facilmente encontrado um observador. O local exato para a instalação das estações hidrossedimentométricas e para a realização das medições de descargas precisa ser definido *in loco*, considerando as especificações listadas a seguir:

- ❑ Verificar se as condições do local indicado para a instalação das réguas são realmente adequadas para operação das mesmas, ou seja: trecho retilíneo, livre de obstáculos ou interferências que possam prejudicar a qualidade dos dados e com declividade suave. A seção deve atender também as exigências de margens bem definidas e leito estável, área de fluxo compatível para realização de medição, com boa distribuição de velocidades em toda seção transversal, facilidade de acesso e situada próximo a uma seção de controle de escoamento.
- ❑ O local escolhido para implantação da seção de réguas linimétricas deve levar em conta também, alguns fatores importantes: acessibilidade ao local de medição e leitura; vigilância; proximidade de um observador; seção adaptável às medidas hidrométricas (permitir medição em todas as cotas), estável (com regime fluvial controlado a jusante e localizada em trecho de material bastante coeso) e com boa sensibilidade (seção que garante grande amplitude de vazões para uma pequena amplitude de cotas). A seção das réguas deve ser locada em um ponto que não sofra interferência de possíveis ações antrópicas ou de remanso de reservatórios, os quais levem à necessidade de sua remoção no prazo de execução do plano de monitoramento.
- ❑ Caso não seja possível realizar as medições de descarga líquida no local em que foram instaladas as réguas, verificar a existência de seção próxima que apresente condições hidráulicas adequadas (distância máxima de 30 m), e esteja situada a montante de seções de controle de fluxo. A escolha de um local adequado garante a estabilidade da curva-chave definida para o local de interesse.
- ❑ Deve ser levantado um perfil transversal da seção de medição de descargas líquidas e sólidas e do local das réguas.
- ❑ Caso seja verificada, *in loco*, inadequação dos pontos indicados nesse estudo, deve ser identificado outro local, que atenda a todos os critérios de instalação e medição de vazões (líquidas e sólidas) em cursos de água.
- ❑ Os lances de réguas instalados devem ser e ficar legíveis, além de devidamente nivelados em relação ao nível zero da régua.
- ❑ Instalar pelo menos duas referências de nível (RN's), as quais permitem a amarração altimétrica da seção posteriormente.
- ❑ Deve ser elaborada uma ficha descritiva para a seção de réguas no padrão ANA, contendo todas as informações referentes ao local: data de instalação, localização e acesso, croqui, características dos lances de régua e materiais, fotos (do local, de jusante e montante), observador contratado, etc.
- ❑ Localizar e contratar um observador, o qual deve ser devidamente treinado para realizar as leituras de nível de água na seção de réguas, bem como verificar o funcionamento da estação.

- ❑ O observador, de preferência, deve residir o mais próximo possível do local, para facilitar o acesso e garantir a continuidade do processo de monitoramento. Seus dados devem constar na ficha descritiva da estação.
- ❑ Programar os serviços de medição para o período de vigência do plano de monitoramento, fixando as datas das medições de descarga líquida e sólida, a emissão dos relatórios parciais e os levantamentos batimétricos nas seções de controle.
- ❑ Equipar a estação para a coleta de amostras de sedimentos em suspensão, de arraste e de fundo de acordo com as características da seção ou contratar empresa que disponha dos equipamentos e materiais necessários.

Tendo em vista a largura do rio Paraíba do Sul (150 m a 250 m), no local indicado para a localização das estações hidrossedimentométricas, será necessária a utilização de barco com motor de polpa para a realização das medições de descarga e garantir a segurança da equipe de medição durante a realização das atividades, sejam elas no período seco ou chuvoso.

Para medição das descargas líquidas recomenda-se a utilização de molinete hidrométrico de eixo horizontal ou vertical e para as descargas sólidas, a utilização de amostradores de sedimentos em suspensão (modelo tipo US D49), de arraste (modelo tipo Arhem) e de fundo (modelo tipo USBM 60). A Tabela D1.1 sintetiza os principais equipamentos necessários à instalação das estações hidrossedimentométricas no rio Paraíba do Sul.

Tabela D1.1 – Materiais necessários para a instalação da estação hidrossedimentométrica no rio Paraíba do Sul.

Descrição	Quantidade
Escalas linimétricas em alumínio padrão ANA/CEMIG	Especificar de acordo com a seção
Peças de madeira tipo parajú de 12 x 8 x 200 cm	Idem acima
Marcos de concreto para instalação de RN's	2
Barco com motor de polpa	1
Guincho fluviométrico para medição	1
Amostrador de sedimento em suspensão (US D49)	1
Amostrador de sedimento de fundo (USBM 60)	1
Amostrador de sedimento de arraste (Arnhem)	1
Garrafas para coleta de amostras de sedimentos	O dobro das verticais de medição
Engradado para guardar as garrafas	1
Cantoneiras para alteamento do cabo de medição	2
Cabo de aço de 3/16" para execução das medições (metros)	Adaptar à largura da seção escolhida

Após a instalação das estações hidrossedimentométricas, pode-se iniciar o programa de monitoramento, o qual permitirá, com a disponibilidade de registros suficientes, determinar a curva-chave de descargas líquidas e sólidas totais no local das réguas e se conhecer o comportamento hidrossedimentológico do rio Paraíba do Sul, no trecho compreendido pelos AHE's Itaocara I e II.

(a) Ações básicas

Para a implementação do programa de monitoramento faz-se necessário as seguintes medidas:

- ❑ Contratação de equipe técnica especializada para realizar as medições de descargas líquidas e sólidas, que disponha de aparelhos de medição e coleta de dados adequados às características do curso de água no trecho considerado.
- ❑ Contratação de dois observadores, com escolaridade mínima em nível fundamental e com residência próxima às estações hidrossedimentométricas, para realizar as leituras bi-diárias de nível de água nas réguas linimétricas das estações.
- ❑ As medições de descarga líquida serão realizadas concomitantemente com a coleta de amostras de sedimentos em suspensão, de arraste e de fundo.
- ❑ Tais medições, simultaneamente feitas com a leitura de cotas nas seções de régua, serão realizadas com frequência anual suficiente para verificar eventuais alterações no leito do rio, as quais afetam as respectivas curvas-chaves no local. Antes e durante a construção da usina recomenda-se a realização de **12 campanhas de medição por ano** (descarga líquida, descarga sólida em suspensão, arraste e de fundo), tal como indicado na Tabela D1.2. Após o enchimento do reservatório e da consolidação da curva-chave, ou seja, durante toda a vida útil do empreendimento, recomenda-se a realização de pelo menos **5 campanhas de medição**, 02 no período seco e 03 no período chuvoso.

Tabela D1.2 – Programa para realização das campanhas de medição de descargas líquidas e sólidas na estação hidrossedimentométrica a ser instalada no do rio Paraíba do Sul.

Período	Número de Campanhas											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Durante a fase de implantação da usina, antes da consolidação da curva-chave	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Durante a operação da usina, após consolidação da curva-chave	1	-	1	-	-	1	-	1	-	-	1	-

- ❑ Deverão ser previamente estabelecidos e/ou descritos após cada campanha, os métodos de medição de descargas líquidas (aparelhos utilizados e métodos de cálculo) e os métodos de medição de descarga sólida (EDI – Iguais Incrementos de Descarga ou EWI – Iguais Incrementos de Largura).
- ❑ As amostras de sedimentos coletadas em campo devem ser embaladas adequadamente, de formas tais a se evitar perdas de material, e encaminhadas a um laboratório especializado em análises sedimentométricas, para determinação da concentração de sólidos em suspensão e de arraste, e, por meio da execução de ensaios granulométricos, determinar a distribuição granulométrica dos materiais.

- ❑ Durante o processo de leitura e medição de descargas líquida e sólida, todas as alterações na seção (exemplo: obstruções) ou no escoamento local (exemplo: turbulência, instabilidade, variável de nível), que possam ser identificadas durante os mesmos ou que impossibilitaram sua realização, devem ser registradas, de forma a tornar possível a verificação de consistência das leituras posteriormente.
- ❑ Os registros bi-diários de nível de água, obtidos pelo observador, deverão ser anotados em cadernetas específicas e disponibilizados uma vez por mês à equipe técnica responsável pelo acompanhamento do monitoramento das réguas.
- ❑ Durante a realização das campanhas de medição deve ser levantado o perfil transversal com batimetria da seção de medição de descargas líquidas, de maneira que seja possível acompanhar a evolução da morfologia da calha.
- ❑ Montar esquema de armazenamento de informações, facilitando a análise posterior dos dados.
- ❑ Elaborar relatórios anuais com os resultados das medições e análises laboratoriais, incluindo a evolução paulatina da curva-chave de sedimentos e a estimativa da descarga sólida total que aporta aos reservatórios das AHEs Itaocara I e II.

Para a execução das medições de descargas líquidas recomenda-se o emprego do método de integração da distribuição de velocidades e para as medições e coletas de sedimentos, recomenda-se o método de Incremento de Descargas Iguais (EDI), que consiste na coleta de um número X de amostras de sedimentos em suspensão, determinado em função da largura da seção de medição, e a coleta de $X + 2$ amostras de sedimentos de fundo, sendo 2 (duas) amostras coletadas nas margens da seção de medição e o restante no leito do rio.

Os resultados das análises das amostras sedimentométricas serão utilizados para a geração das séries de descargas sólidas totais e serão armazenadas, juntamente com as medições de descargas líquidas e de nível de água, em um banco de dados até que a quantidade de registros seja suficiente para permitir: (i) uma análise detalhada de sua consistência; (ii) estabelecer a curva-chave de vazões líquidas, a curva-chave de sedimentos em suspensão e de arraste e a curva-chave de sedimentos totais; e (iii) estimar o aporte de sedimentos afluentes aos reservatórios dos AHEs Itaocara I e II e, conseqüentemente a altura de sedimentos depositados nos reservatórios e vida útil dos mesmos.

(b) Cronograma

As campanhas de medição devem ser inicializadas de imediato e permanecerem durante toda a vida útil do empreendimento.

(c) Equipe Técnica

A equipe técnica prevista para a execução do Programa de Monitoramento Hidrossedimentométrico dos AHEs Itaocara I e II deverá ser composta pelos seguintes profissionais:

- ❑ 01 engenheiro hidrólogo sênior com experiência em execução de programas de monitoramento hidrossedimentológico, para exercer a atividade de coordenação geral, participar de reuniões técnicas, executar levantamento de dados secundários, coleta de campo, acompanhamento de processamento laboratorial, computação e análise dos dados, interpretação dos resultados e elaboração de relatórios;
- ❑ 01 técnico em hidrometria com experiência em operação de barco para condução nos trabalhos de coletas de dados no campo, análise e processamento dos dados coletados;
- ❑ 02 auxiliares técnicos em hidrometria com experiência em operação de barco para condução nos trabalhos de coletas de dados no campo;
- ❑ 01 técnico em laboratório com experiência em análise de amostras sedimentométricas para condução nos trabalhos de coletas de amostras no campo, análise e processamento dos dados.
- ❑ 02 leituristas, com escolaridade mínima em nível fundamental, para a realização das leituras bi-diárias de nível de água nas réguas linimétricas das estações hidrossedimentométricas.

(d) Critérios de Armazenamento e Distribuição das Informações Monitoradas

Os registros coletados nas estações de monitoramento devem compor um *Banco de Dados Brutos*, disponível para análise e tratamento por equipe técnica especializada. Após a análise da consistência dos mesmos, estes devem ser armazenados em um *Banco de Dados Consistidos*, o qual deve estar disponível para consulta a qualquer momento.

Os dados consistidos devem ser utilizados na emissão de relatórios e estatísticas das informações coletadas, bem como na elaboração dos estudos de interesse. É fundamental que a forma de armazenamento e distribuição dos dados coletados seja feita de maneira compatível com a transmissão dos mesmos.

(e) Avaliação das Campanhas de Medição de Descargas Líquidas

A partir das leituras de régua realizadas na estação fluviométrica e das medições de velocidade e área molhada na seção, serão calculadas as vazões líquidas. Os dados obtidos em cada campanha serão analisados de forma cumulativa, permitindo, dessa forma, determinar a curva-chave local, a qual relaciona os níveis e vazões do referido curso de água no trecho de interesse.

(f) Avaliação do Transporte de Sedimentos

A partir da análise cumulativa dos registros disponibilizados por todas as campanhas de medição de descargas líquidas e sólidas previstas nas estações hidrossedimentométricas, posicionadas a montante e jusante dos AHEs Itaocara I e II, será possível estimar com maior grau de confiança a descarga sólida afluente e defluente aos eixos dos barramentos, aplicando o **Método Modificado de Einstein** ou o **Método Simplificado de Colby**, descritos detalhadamente em Carvalho (2008, referência citada).

Em função da disponibilidade de registros locais, os estudos sedimentológicos para avaliação da vida útil do reservatório poderão ser realizados pelo **Método Empírico de Redução de Áreas**, desenvolvido por Bortland e Miller e descrito em Hidrossedimentologia Prática (Carvalho, N.O., CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 2008). Por meio desse método é possível estimar a vida útil, calcular a altura de sedimentos depositados no pé da barragem em um determinado período de tempo, bem como estimar a distribuição dos sedimentos no reservatório.

D2. PROGRAMA DE MONITORAMENTO TOPOBATIMÉTRICO DOS RESERVATÓRIOS

O levantamento de seções topobatimétricas nos reservatórios dos empreendimentos hidrelétricos é imperativo para o conhecimento da evolução dos depósitos nos mesmos e para o controle da vida útil desses empreendimentos. Portanto, o objetivo deste programa é monitorar a dinâmica deposicional de sedimentos ao longo dos reservatórios dos AHE's Itaocara I e II e a realização de análises comparativas com os levantamentos anteriores, incluindo a análise da morfologia original, anterior à formação do lago. Dessa forma, será possível verificar e avaliar o assoreamento do reservatório ao longo do tempo e confirmar o tempo de vida útil estimado por meio dos estudos hidrossedimentométricos, feitos com base nas campanhas de medição, bem como no prognóstico de assoreamento determinado nos estudos anteriores de projeto básico da referida usina.

(a) Área de abrangência

A área de abrangência do programa engloba o levantamento topobatimétrico da área do reservatório, do respectivo delta, e do leito fluvial até o canal de fuga do empreendimento hidrelétrico posicionado imediatamente a montante. Ou seja, no caso do AHE Itaocara I, o levantamento precisa cobrir todo o reservatório e se estender até o canal de fuga do AHE Itaocara II, e em relação ao AHE Itaocara II, o levantamento tem que varrer todo o lago e se prolongar até ao canal de fuga da UHE Ilha dos Pombos.

(b) Metodologia

O conhecimento da evolução batimétrica dos reservatórios será obtido a partir de medições sistemáticas de profundidades do leito dos rios citados, através da composição de seções topobatimétricas levantadas perpendicularmente aos mesmos.

Ao se estabelecer uma periodicidade adequada e uma mesma localização levantamentos topobatimétricos, será possível, após cada campanha de medições, determinar a perda de área (em relação às medições do ano anterior) nas seções topobatimétricas obtidas, e, conseqüentemente, calcular o volume de sedimentos depositados em um determinado período. O acúmulo e tratamento dos dados gerados pelas sucessivas campanhas permitirão uma análise da dinâmica dos sedimentos que transitarão neste trecho do reservatório.

As seções topobatimétricas serão concentradas nos reservatórios, preferencialmente nas regiões de formação de delta, permitindo o acompanhamento da dinâmica de deposição de sedimentos no remanso dos reservatórios ou a serem formados nos cursos de água afluente.

Os resultados obtidos durante cada levantamento serão comparados com os levantamentos anteriores, incluindo a análise da morfologia original, anterior à formação dos lagos. Dessa forma, será possível verificar e avaliar o assoreamento dos reservatórios ao longo do tempo e

confirmar o tempo de vida útil estimado por meio dos estudos hidrossedimentométricos, feitos com base nas campanhas de medição.

A localização destas seções será materializada no campo através de fixação de marcos de concreto nos dois lados do reservatório, preferencialmente de modo a serem diretamente utilizados para as operações de campo, como ponto de amarração de cabos de apoio. Deverão ainda ser implantados marcos de segurança enterrados, que servirão como referência para restabelecimento da localização das seções, no caso de descaracterização ou desaparecimento dos marcos superficiais.

O levantamento das seções topobatimétricas poderá ser realizado a partir das seguintes diretrizes:

- a) Os levantamentos deverão ser realizados por equipe especializada, utilizando os equipamentos de precisão, sendo:
 - Na área dos reservatórios, onde as profundidades são maiores, as seções topobatimétricas devem ser levantadas com a utilização de ecobatímetro de registro contínuo acoplado a um GPS com precisão submétrica.
 - Nas regiões onde as profundidades são menores, sem condições para a passagem com o barco, as seções topobatimétricas poderão ser executadas pelo método convencional com o uso de estações totais e de miras diretamente no fundo do rio, de modo a se obter a tomada de profundidades nos locais de interesse.
- b) Para todas as seções topobatimétricas definidas deverá ser adotada uma referência de nível comum com as elevações fornecidas em cotas altimétricas verdadeiras. Recomenda-se a utilização:
 - Datum vertical: marégrafo de Imbituba;
 - Datum horizontal: SAD-69.
- c) As seções deverão ter o alinhamento perpendicular ao escoamento, tendo-se como limites os marcos de concreto localizados em cada margem dos reservatórios.
- d) O número de pontos a serem levantados em cada seção deve ser tal que permita aproximação de todos os contornos e singularidades, buscando a maior aproximação possível com a realidade da configuração do leito, sendo o espaçamento mínimo de 2 (dois) metros entre os pontos.
- e) Deverá ser informado, de maneira expedita, o material ali existente, tais como: rocha, cascalho, areia, lama etc. Os resultados obtidos serão registrados adequadamente de modo a serem incorporados ao banco de dados do projeto.

(c) Produtos a Serem Gerados

Os produtos finais de cada trabalho de campo deverão ser apresentados conforme a seguir:

- Desenhos das seções topobatimétricas, em planta, contendo as coordenadas dos extremos das seções, dos marcos de concreto, do nível de água do reservatório obtido na data do levantamento;
- Planilha em Excel, contendo as coordenadas dos extremos das seções, dos pontos coletados em campo, do nível de água obtido na data do levantamento;
- Desenho do perfil transversal de cada seção, contendo o nível de água obtido na data do levantamento, os marcos de concreto, os pontos coletados, os materiais existentes no leito do reservatório;
- Os resultados obtidos nos levantamentos de campo deverão ser incorporados a um banco de dados organização das informações e utilização em futuras análises comparativas;

Os resultados obtidos deverão ser analisados por especialista em hidrossedimentologia e morfodinâmica fluvial, que produzirá um relatório a cada ano com a análise crítica e interpretativa dos dados.

O relatório deverá constar do mapa de localização das seções, do gráfico comparativo das seções a cada ano, o cálculo do volume assoreado, a reavaliação da vida útil do reservatório. Ainda deverão constar as ações para aperfeiçoamento do programa e o indicativo conceitual de soluções / estudos para mitigar eventuais problemas causados pelo assoreamento.

A partir do momento em que seja observado um equilíbrio morfodinâmico do leito do reservatório, deverá ser produzido um relatório de consolidação das informações, de modo a se buscar o estabelecimento de um padrão de deposição de sedimentos.

(d) Cronograma

Os levantamentos topobatimétricos deverão ser realizados anualmente, até que se obtenha uma estabilização do leito fluvial por três (03) anos consecutivos.

Após este período, os levantamentos deverão ser realizados em intervalo de 5 anos, para fins de controle.

(e) Equipe Técnica

A equipe técnica para execução dos trabalhos inclui os seguintes profissionais:

- ❑ 01 engenheiro civil, especialista em recursos hídricos com conhecimento em hidráulica fluvial e sedimentologia, para definição dos locais onde deverão ser levantadas as seções transversais e elaboração do relatório técnico anual.
- ❑ 01 técnico em hidrometria/topografia, com experiência em levantamentos topobatimétricos de reservatórios e cursos de água, para a realização dos levantamentos topobatimétricos.
- ❑ 02 a 03 auxiliares de topografia, para darem suporte durante os levantamentos topobatimétricos.
- ❑ 01 desenhista para elaboração dos desenhos das seções transversais e geração das curvas de níveis nos reservatórios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARVALHO N.O., Hidrossedimentologia Prática, CPRM – Companhia de Pesquisa e Recursos Mineiros, 2008.

CAVALCANTI BERARDES, L.M., Planície Litorânea e a Zona Canavieira do Estado do Rio de Janeiro, XVIII Congresso Internacional de Geografia, Guia de excursão No. 5. Conselho Nacional de Geografia, Rio de Janeiro, 248 p. 1957.

CHANG H.H., Fluvial Process in River Engineering, Wiley-Interscience, 1988.

COLLINS F., River Mechanics, Water Resources Publications, 1971.

DNPM, Projeto Radam Brasil, Sudene, 1973.

FISRWG, Stream Corridor Restoration, Federal Interagency Stream Corridor Restoration Working Group, 1998.

LAMEGO, A.R., O Homem e a Restinga, Conselho Nacional de Geografia, Rio de Janeiro, 227 p., 1946.

MARTIN, L.M.; SUGUIO, K. & FLEXOR, J. M., As Flutuações de Nível do Mar Durante o Quaternário Superior e a Evolução Geológica de “Deltas” Brasileiros, Boletim IG-USP: Publicação Especial, v. 15, 1993.

RIBEIRO FILHO, R., Caracteres Físicos e Geológicos da Bacia do Paraíba, Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia, No. 127, Rio de Janeiro, 55 p., 1948.

STRAND, Robert I. Design of small dams: sedimentation – Appendix H, Bureau of Reclamation. Washington, DC. 1974.