

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

ANDRÉ SOUZA PELECH

BALANÇO SEDIMENTAR HOLOCÊNICO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DOS TRÊS POÇOS - VOLTA REDONDA/PINHEIRAL (RJ)

RIO DE JANEIRO 2013 André Souza Pelech

BALANÇO SEDIMENTAR HOLOCÊNICO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DOS TRÊS POÇOS - VOLTA REDONDA/PINHEIRAL (RJ)

Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGG), Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Geografia.

Orientadora: Maria Naíse de Oliveira Peixoto

P 381 Pelech, André Souza

Balanço sedimentar holocênico da bacia hidrográfica do Ribeirão dos Três Poços - Volta Redonda / Pinheiral (RJ)" / André Souza Pelech. -- Rio de Janeiro : UFRJ. 2013. 138 f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Maria Naíse de Oliveira Peixoto. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio de] Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2013.

 Balanço sedimentar. 2. Depósitos quaternários.
Médio Vale do rio Paraíba do Sul. I. Peixoto, Maria Naíse de Oliveira. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Geografia.

André Souza Pelech

BALANÇO SEDIMENTAR HOLOCÊNICO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DOS TRÊS POÇOS - VOLTA REDONDA/PINHEIRAL (RJ)

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGG), Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Geografia.

Aprovada em 01 de março de 2013.

CARLA MACIEL SALGADO - UFF

CLÁUDIO LIMEIRA MELLO - UFRJ

JOSILDA RODRIGUES DA SILVA MOURA - UFRJ

MARIA NAÍSE DE OLIVEIRA PEIXOTO (ORIENTADORA) - UFRJ

Dedico este trabalho às minhas famílias humana (em especial à minha esposa Ana Carolina) e canina pelo apoio incondicional.

AGRADECIMENTOS

À professora Dra. Maria Naíse de Oliveira Peixoto pela orientação e discussões indispensáveis para a elaboração dessa dissertação.

Aos estagiários do Núcleo de Estudos do Quaternário (NEQUAT), em especial ao graduando em Geografia André, pela inestimável ajuda em campo.

À engenheira Ingrid Del Pozo pela ajuda e troca de informações nos campos.

À geóloga Ana Carolina Carius Lisboa Barboza pelo suporte emocional, pela leitura crítica, e pela ajuda nos desentendimentos com o Word.

RESUMO

PELECH, André Souza. Balanço sedimentar holocênico da bacia hidrográfica do Ribeirão dos Três Poços – Volta Redonda/Pinheiral (RJ). Rio de Janeiro, 2013. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013

A história holocênica da região do médio vale do rio Paraíba do Sul foi marcada por um significativo evento deposicional, denominado evento Manso, quando houve uma produção elevada de sedimentos que excedeu a capacidade de transporte dos canais fluviais, proporcionando o entulhamento dos fundos dos vales e das cabeceiras de drenagem. Posteriormente ao evento Manso, houve uma retomada erosiva com o reencaixamento da drenagem. Esses episódios resultaram em uma complexa dinâmica de estocagem e evasão de sedimentos no âmbito das bacias hidrográficas, respondendo de maneiras diversas ao encaixamento do coletor principal. Desta forma, o presente estudo objetivou elucidar o balanço sedimentar holocênico na bacia hidrográfica do Ribeirão dos Três Poços, bacia afluente do rio Paraíba do Sul, localizada entre os municípios de Volta Redonda e Pinheiral. A partir dos métodos empregados, foi possível estimar que a deposição relacionada ao evento Manso alcançou aproximadamente 18.000.000 m³, sendo a maioria estocada no médio curso da bacia hidrográfica do Ribeirão dos Três Poços, nos domínios do gráben Casa de Pedra. Os episódios erosivos subsequentes ao evento Manso remobilizaram aproximadamente 30% dos depósitos entulhados, com esvaziamento mais significativo registrado no baixo curso, onde houve uma remoção aproximada de 50% dos sedimentos. No entanto, o médio curso apresentou uma preservação do volume sedimentar superior a 80%. Essa diferenciação de respostas entre o alto e o baixo curso, de um lado, e o médio curso, de outro, pode ser explicada pelo contexto geológico-geomorfológico: o alto e o baixo curso se localizam sobre altos estruturais do embasamento cristalino (horstes relativos ao gráben da casa de Pedra), em relevos de morros e serras baixas; enquanto o médio curso situa-se no gráben da Casa de Pedra, sobre os depósitos paleogênicos, em um relevo colinoso. Além disso, as fases tectônicas quaternárias de transcorrência dextral E-W e de extensão NW-SE contribuíram significativamente para os episódios deposicionais e erosivos registrados na bacia. A retomada erosiva dos depósitos entulhados gerou depósitos sedimentares pouco significativos, representados pelos níveis inferiores de sedimentação. Apesar dos episódios erosivos pós-Manso terem remobilizado uma grande quantidade de sedimentos, a bacia ainda apresenta uma boa preservação dos depósitos entulhados.

Palavras-chave: balanço sedimentar. depósitos quaternários. médio vale do rio Paraíba do Sul.

ABSTRACT

PELECH, André Souza. Holocenic sediment budget of Ribeirão dos Três Poços basin – Volta Redonda/Pinheiral (Rio de Janeiro state). Rio de Janeiro, 2012. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012

The holocenic history of the region of Paraíba do Sul river middle valley was marked by a significant deposicional event, called Manso event, responsible for high producing sediment that exceeded the carrying capacity of fluvial channels, providing the complete filling of the valleys and headwater drainage. Later the event Manso, there was a erosive event with deposits cut by drainage. These episodes resulted in a complex dynamic of sediment storage and delivery within the watershed, responding differently to the main collector base level vertical lowering. Thus, the present study aimed to elucidate the Holocene sediment budget in a tributary of the Paraíba do Sul river, located between the towns of Volta Redonda and Pinheiral. The implemented methods allowed to estimate that deposition related to the event Manso reached approximately 18 million cubic meters, mostly stored in the middle course of the Ribeirão dos Três Poços catchment river basin of Ribeirão, in the areas of Casa de Pedra graben. The following erosive episodes removed approximately 30% of fill deposits, where low course sediment removal was most expressive, with approximate 50% sediment removal. However, the middle curse showed a preservation of volume sediment exceeding 80%. This differentiation of responses between catchment courses can be explained by geological and geomorphological context: the high and low course are located on the crystalline basement (horsts related to the Casa da Pedra graben) characterized by low mountains, while the middle course is located in the Casa de Pedra graben, over paleogenic deposits, in a hilly relief. Furthermore, the movement of the graben faults, in a holocenic tectonic phase related to NW-SE extension, may have contributed significantly to the aggradational and erosion episodes recorded in the catchment. Moreover, the quaternary phase tectonic E-W transcurrent dextral and NW-SE extension contributed significantly to the depositional and erosional episodes recorded in the basin. The return of erosive episodes on sedimentary deposits of valley filling generated other little significant sedimentary deposits, represented by lower sedimentation. Although erosive episodes post-event Manso mobilized a large amount of sediment, the basin has a good preservation of deposits cluttered.

Keywords: sediment budget. quaternary deposits. Paraíba do Sul river middle valley

Sumário

1 INTRODUÇÃO	17
2 OBJETIVOS	19
3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	20
3.1 CONTEXTO GEOLÓGICO-GEOMORFOLÓGICO REGIONAL	22
3.2 ESTRATIGRAFIA DA BACIA DE VOLTA REDONDA	23
3.3 EVOLUÇÃO DA PAISAGEM DURANTE O HOLOCENO	27
3.4 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-GEOMORFOLÓGICA DA BACIA DO RIBEIRÃO DOS TRÊS POÇOS	30
4 REVISÃO CONCEITUAL DO BALANÇO SEDIMENTAR	33
5 MATERIAIS E MÉTODOS	39
5.1 MAPEAMENTO DE FEIÇÕES DEPOSICIONAIS E EROSIVAS DE FUNDOS DE VALE	39
5.2 ANÁLISE DAS SUCESSÕES SEDIMENTARES EM TERRAÇOS FLUVIAIS	42
5.3 ESTIMATIVA DO BALANÇO SEDIMENTAR	42
5.3.1 Cálculo do volume de deposição	44
5.3.2 Cálculo do volume removido	48
5.3.3 Profundidade da cunha sedimentar	48
6. RESULTADOS	50
6.1 DESCRIÇÃO GEOMORFOLÓGICA	50
6.2 ANÁLISE DOS DEPÓSITOS HOLOCÊNICOS DA BACIA DOS TRÊS POÇOS	59
6.2.1 Levantamento estratigráfico do Terraço Superior e das Rampas de Alúvio-Colúvio	62
6.2.2 Levantamento estratigráfico dos níveis inferiores de sedimentação	88
6.3 BALANÇO SEDIMENTAR DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DOS TRÊS POÇOS1	02
7. DISCUSSÕES1	17
7.1 DEPÓSITOS HOLOCÊNICOS DE FUNDOS DE VALE1	17
7.2 BALANÇO SEDIMENTAR E QUESTÕES SOBRE A DINÂMICA SEDIMENTAR1	20
8 CONCLUSÕES1	30
BIBLIOGRAFIA	33

Lista de Figuras

Figura 1 – Mapa de Localização da bacia hidrográfica do Ribeirão dos Três Poços. Mapas do Brasil e do estado do Rio de Janeiro em coordenadas geográficas, South American Datum 1969. Mapa municipal e da bacia em projeção UTM, datum WGS 1984, fuso 23S......21

Figura 15 – Mapa de feições deposicionais e erosivas da bacia do Ribeirão dos Três Poços. As drenagens se apresentam deslocadas, e sem precisão cartográfica, devido à escala de origem do vetor. Os levantamentos sedimentológicos dos depósitos holocênicos foram realizados nos retângulos em destaque (A, B e C), e serão detalhados na figura 22......51

Figura 16 – Voçoroca remobilizando atualmente sedimentos quaternários e do embasamento cristalino. Notar os vestígios da rampa de alúvio-colúvio assinalados nas bordas da voçoroca.

Figura 26 – Mapa de localização dos perfis estratigráficos 6, 7 e 8 (localizado no sudeste da bacia, situado no terraço superior)
Figura 27 – Perfil Estratigráfico 6 localizado no sudeste da bacia, situado no terraço superior. À direita, a descrição das camadas sedimentares reconhecidas. As fácies sedimentares estão representadas em vermelho
Figura 28 – Perfil Estratigráfico 7 localizado no sudeste da bacia, situado no terraço superior. À direita, a descrição das camadas sedimentares reconhecidas. As fácies sedimentares estão representadas em vermelho
Figura 29 – Perfil Estratigráfico 8 localizado no sudeste da bacia, situado no terraço superior. À direita, a descrição das camadas sedimentares reconhecidas. As fácies sedimentares estão representadas em vermelho
Figura 30 – Grupo de perfis 1 (composto pelos perfis 6, 7 e 8) localizado no sudeste da bacia, situado no terraço superior. As fácies sedimentares estão representadas em vermelho. Abaixo, fotomosaico com a localização dos perfis no afloramento
Figura 31 – Mapa de localização do perfil estratigráfico 11 (localizado no oeste da bacia, numa cabeceira entulhada)
Figura 32 – Perfil Estratigráfico 11 localizado no oeste da bacia, numa cabeceira entulhada (cortada pela Rodovia do Contorno), no domínio do Gráben Casa de Pedra. À direita, a descrição das camadas sedimentares reconhecidas. As fácies sedimentares estão representadas em vermelho
Figura 33 – Perfil estratigráfico 11 localizado na transição entre rampa de alúvio-colúvio e terraço superior no oeste da bacia. Local demarcado em vermelho na foto acima. Perfil realizado na vertical do martelo
Figura 34 – Mapa de localização do perfil estratigráfico 9 (localizado no sudeste da bacia, situado no terraço superior)
Figura 35 – Perfil Estratigráfico 9 localizado no nordeste da bacia, levantado em depósitos da transição entre a rampa de alúvio-colúvio e o Terrraço Alto, e situado dentro de uma voçoroca. À direita, a descrição das camadas sedimentares reconhecidas. As fácies sedimentares estão representadas em vermelho
Figura 36 – Afloramento de depósitos da transição entre a rampa de alúvio-colúvio e o Terrraço Alto, onde foi levantado perfil Estratigráfico 9, localizado no nordeste da bacia, e situado dentro de uma voçoroca
Figura 37 – Mapa de localização do perfil estratigráfico 10 (localizado no nordeste da bacia, levantado em depósitos da rampa de alúvio-colúvio, próximo ao Terrraço Superior, e situado dentro de uma voçoroca)
Figura 38 – Aspecto predominantemente arenoso do afloramento do perfil estratigráfico 10.78
Figura 39 – Perfil Estratigráfico 10 localizado no nordeste da bacia, levantado em depósitos da rampa de alúvio-colúvio, próximo ao Terrraço Superior, e situado dentro de uma voçoroca. À direita, a descrição das camadas sedimentares reconhecidas. As fácies sedimentares estão representadas em vermelho
Figura 40 – Mapa de localização do perfil estratigráfico 12 (localizado no nordeste da bacia, situado no terraço superior)

Figura 41 - Perfil Estratigráfico 12 localizado no nordeste da bacia, situado no terraço superior. À direita, a descrição das camadas sedimentares reconhecidas. As fácies Figura 42 – Afloramento do perfil Estratigráfico 12, localizado no nordeste da bacia e situado Figura 43 – Mapa de localização dos perfis estratigráficos 14 e 15 (localizados no nordeste da Figura 44 - Perfil estratigráfico 14 localizado no nordeste da bacia, situado no Terraço Superior. À direita, a descrição das camadas sedimentares reconhecidas. As fácies Figura 45 - Perfil estratigráfico 15 localizado no nordeste da bacia, situado no Terraço Superior. A base do perfil está a 1,30m acima do leito do rio. À direita, a descrição das camadas sedimentares reconhecidas. As fácies sedimentares estão representadas em vermelho. Figura 46 - Grupo de perfis 2 (composto pelos perfis 14 e 15) localizado no nordeste da bacia, situado no Terraço Superior. As fácies sedimentares estão representadas em vermelho. Figura 47 – Aspectos dos litoclastos encontrados na fácies rudácea C. Camadas situadas na Figura 48 - Mapa de localização do perfil estratigráfico 5 (localizado no sudeste da bacia, e Figura 49 - Perfil estratigráfico 5 localizado no sudeste da bacia, e situado em um nível inferior de sedimentação. À direita, a descrição das camadas sedimentares reconhecidas. As Figura 50 - Mapa de localização do perfil estratigráfico 1 (localizado no sudeste da bacia, próximo à falha sul do Gráben Casa de Pedra, e situado em um nível de sedimentação Figura 51 – Perfil Estratigráfico 1 localizado no sudeste da bacia, próximo à falha sul do Gráben Casa de Pedra, e situado em um nível de sedimentação inferior. À direita, a descrição das camadas sedimentares reconhecidas. As fácies sedimentares estão representadas em Figura 52 – Mapa de localização do perfil estratigráfico 2 (localizado no nordeste da bacia, em um pequeno terraço de várzea, na margem direita do rio nos níveis inferiores de Figura 53 – Perfil Estratigráfico 2 localizado no nordeste da bacia, em um pequeno terraco de várzea, na margem direita do rio nos níveis inferiores de sedimentação. À direita, a descrição das camadas sedimentares reconhecidas. As fácies sedimentares estão representadas em Figura 54 – Afloramento do terraço de várzea onde foi levantado o perfil estratigráfico 2....93 Figura 55 – Mapa de localização do perfil estratigráfico 3 (localizado no nordeste da bacia, e Figura 62 – Perfil estratigráfico 16 localizado no nordeste da bacia, situado em nível inferior de sedimentação, na entrada de uma voçoroca. À direita, a descrição das camadas sedimentares reconhecidas. As fácies sedimentares estão representadas em vermelho. 100

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Feições deposicionais quaternárias e seus significados morfológicos (MOURA &SILVA, 1998).40
Tabela 2 – Fácies sedimentares referentes aos depósitos holocênicos analisados da bacia do Ribeirão dos Três Poços
Tabela 3 – Volumes estocados e removidos durante o Holoceno, na bacia do Ribeirão dos Três Poços
Tabela 4 – Volumes estocados e removidos durante o Holoceno, no Alto Curso da bacia do Ribeirão dos Três Poços
Tabela 5 – Volumes estocados e removidos durante o Holoceno, no Médio Curso da bacia do Ribeirão dos Três Poços
Tabela 6 – Volumes estocados e removidos durante o Holoceno, no Baixo Curso da bacia do Ribeirão dos Três Poços
Tabela 7 – Síntese do balanço sedimentar da bacia do Ribeirão dos Três Poços. Limites cronológicos de idade oriundos de MELLO et al. (1995)
Tabela 8 – Taxa de erosão anual (m ³ /ano) da bacia e seus compartimentos

1 INTRODUÇÃO

A dinâmica evolutiva quaternária de bacias hidrográficas, na região do Médio Vale do rio Paraíba do Sul (MVPS), vem sendo abordada pelo Núcleo de Estudos do Quaternário & Tecnógeno (NEQUAT), contribuindo para o aprimoramento dos conhecimentos sobre a evolução de encostas e da rede de drenagem no Sudeste brasileiro através da integração de argumentos estratigráficos, geomorfológicos, pedológicos e palinológicos (MOURA, 1991; MOURA & MELLO, 1991; MOURA *et al*, 1991; MELLO, 1992; MELLO et al, 1995; BARROS, 1996; COSTA, 2000; PEIXOTO, 2002; SALGADO, 2006; entre outros).

Apesar da existência de um arcabouço estratigráfico detalhado para o MVPS, fruto das pesquisas desenvolvidas ao longo dos últimos 30 anos, ainda há muitas questões a investigar no tocante à elucidação dos controles da variabilidade espacial da estocagem de sedimentos relacionada aos episódios holocênicos de agradação fluvial/coluviação e de encaixamento da drenagem.

Estudos de cunho estratigráfico e de mapeamento de corpos sedimentares, que se apresentam difundidos na literatura, são essenciais para o entendimento de mudanças ambientais na paisagem. A análise do registro sedimentar constitui uma importante ferramenta para a reconstituição da história evolutiva dos sistemas fluviais, propiciando também a identificação dos sedimentos depositados e o estabelecimento de paleoambientes.

O estudo da paisagem recente envolve a compreensão dos episódios erosivos e/ou deposicionais identificados no registro sedimentar, o que gera uma necessidade de quantificação dos depósitos sedimentares relacionados a esses registros. Desta forma, a análise do balanço sedimentar pode contribuir para a melhor compreensão do registro sedimentar na paisagem, pois permite quantificar os volumes sedimentares envolvidos, e, desta forma, compreender a magnitude dos eventos erosivos e deposicionais.

Pesquisas relacionadas ao balanço sedimentar em bacias hidrográficas vêm sendo produzidas, principalmente em âmbito internacional, através de duas vertentes principais. A primeira trata de balanços sedimentares recentes, ou seja, estuda essencialmente a taxa de liberação de sedimentos atual considerando diferentes solos, substratos, morfologias, e tipos de uso do solo, como em WALLING et al (2002) e FÖRSTER & WUNDERLICH (2009), abordando também as variáveis clima e intensidade de precipitação (LANE et al, 2007). A segunda vertente, foco do presente estudo, investiga o balanço sedimentar através dos

registros sedimentares, principalmente preenchimentos de vale e terraços (BRIERLEY & MURN, 1997; BRIERLEY & FRYIRS, 1998; FRYIRS & BRIERLEY, 1999; BROOKS & BRIERLEY, 2004; BARROS et al, 2007; FOSTER et al, 2009), obtendo desta forma resultados para uma escala temporal mais ampla, ainda que bastante variável (décadas, séculos, milênios ou superiores). Estes estudos analisaram o volume de sedimentos removido e/ou depositado em bacias hidrográficas com expressivos preenchimentos de vale, tratando especialmente de suas relações com o processo de ocupação e uso do solo ou desequilíbrio ambientais quaternários.

A intensificação da expansão urbana, do desmatamento e das atividades agropecuárias vem ocasionando mudanças ambientais expressivas nos sistemas geomorfológicos, especialmente no sistema bacia de drenagem, acarretando quase sempre a degradação dos sistemas ambientais e das condições/da qualidade de vida da sociedade. Considerando as bacias hidrográficas como sistemas interligados que sofrem e exercem influência na dinâmica da paisagem a curto, médio e longo prazos, torna-se evidente a necessidade de pesquisas que objetivem apreender o comportamento das bacias ao longo do tempo e analisar as variáveis condicionantes das diferentes respostas aos eventos deflagradores de mudanças significativas (*inputs*).

2 OBJETIVOS

O estudo proposto tem como objetivo principal calcular o balanço sedimentar associado ao preenchimento dos fundos de vale e reencaixamento da drenagem durante o Holoceno na bacia do Ribeirão dos Três Poços, situada no Médio Vale do rio Paraíba do Sul.

Para tanto, os objetivos específicos deste estudo são:

- identificar as feições deposicionais e erosivas associadas ao preenchimento de fundos de vale e cabeceiras de drenagem ocorrido durante o Holoceno;
- identificar os depósitos sedimentares holocênicos de fundos de vale;
- mensurar os volumes sedimentares envolvidos na dinânica de retenção e evasão de sedimentos.

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A bacia do Ribeirão dos Três Poços, área de estudo desta pesquisa (Figura 1), possui 14,18 km² e está situada na região no Médio Vale do rio Paraíba do Sul.

A bacia localiza-se no estado do Rio de Janeiro, situada entre os municípios de Volta Redonda e Pinheiral – o Ribeirão dos Três Poços divide estes municípios – e está a uma distância de aproximadamente 120 km da cidade do Rio de Janeiro e 340 km da cidade de São Paulo. A principal via de acesso à bacia é a Avenida Paulo Erlei Alves Abrantes, adjacente ao rio Paraíba do Sul. A Rodovia do Contorno, que corta o trecho oeste da bacia, está atualmente desativada, porém uma série de obras vem ocorrendo para sua reativação.

Antes de focar nas características da bacia do Ribeirão dos Três Poços propriamente, no intuito de compreender a região da área de estudo, serão apresentados a seguir: o contexto geológico-geomorfológico regional no qual a bacia se insere (item 3.1); a estratigrafia dos depósitos paleogênicos da bacia de Volta Redonda (item 3.2), tendo em vista que a bacia do Ribeirão dos Três Poços possui boa parte de sua extensão neste domínio; a evolução da paisagem durante o Quaternário (item 3.3); e, por fim, as principais características geológico-geomorfológica da bacia do Ribeirão dos Três Poços (item 3.4).



Figura 1 – Mapa de localização da bacia hidrográfica do Ribeirão dos Três Poços. Mapas do Brasil e do estado do Rio de Janeiro em coordenadas geográficas, South American Datum 1969. Mapa municipal e da bacia em projeção UTM, datum WGS 1984, fuso 23S. Fonte: IBGE (2007) e IBGE (2009).

3.1 CONTEXTO GEOLÓGICO-GEOMORFOLÓGICO REGIONAL

A evolução geológico-geomorfológica do médio vale do rio Paraíba do Sul está ligada à história de evolução das serras do Mar e da Mantiqueira no sudeste brasileiro. Segundo ALMEIDA & CARNEIRO (1998), a Serra do Mar é um conjunto de escarpas festonadas, com aproximadamente 1000 km de extensão, se estendendo do norte de Santa Catarina ao Rio de Janeiro. O conjunto que envolve a Serra da Mantiqueira, a Serra do Mar e os Maciços Litorâneos, configuram as feições geomorfológicas de destaque do sudeste brasileiro, do interior ao litoral, respectivamente. Em uma clássica interpretação, ASMUS & FERRARI (1978) sugerem um sistema de blocos basculados em falhas normais de direção ENE-WSW – configurando horstes e grábens – para a origem do atual relevo da região sudeste. Segundo ALMEIDA & CARNEIRO (1998), houve uma reativação tectônica de antigas estruturas do embasamento pré-cambriano, que propiciou o soerguimento das serras do sudeste. Na separação do continente Gondwana, que resultou na abertura do Oceano Atlântico, as descontinuidades mais antigas foram reativadas em pulsos descontínuos do Cretáceo ao Paleógeno.

O balanço isostático entre a região oceânica e continental sofreu um forte desequilíbrio, gerado pela acumulação sedimentar na bacia de Santos, colaborando para o soerguimento mais acentuado da Serra do Mar, através de movimentos distensionais nas estruturas pré-cambrianas de direção ENE-WSW (ASMUS & FERRARI, 1978).

Dentro das discussões de evolução do relevo nesta região, RICCOMINI (1989) aponta a existência do *Rift* Continental do Sudeste do Brasil (RCSB) que se configura entre as Serras da Mantiqueira, do Mar e dos Maciços Litorâneos (Figura 2). O RCSB, de idade paleogênica, teria se formado concomitantemente ao processo de formação das serras do sudeste brasileiro, conforme sugerem ASMUS & FERRARI (1978). Neste *rift*, de direção ENE, estariam presentes as feições deposicionais paleogênicas mais importantes do sudeste – depocentros que foram preenchidos durante a evolução do modelado – como as bacias sedimentares de Taubaté, Resende e Volta Redonda.



Figura 2 - Estruturação geológica da região sudeste do Brasil, com os principais lineamentos ENE e NE, e destaque para as principais bacias sedimentares que compõem o RCSB (SANSON, 2006).

O mapeamento de relevo do IBGE (2006) aponta a área como pertencente à Depressão do Rio Paraíba do Sul, situada entre as Serras do Mar e da Mantiqueira. Segundo o mapeamento geomorfológico realizado por DIAS (1999), no município de Volta Redonda, a área onde a bacia do Ribeirão dos Três Poços está inserida apresenta os seguintes padrões de relevo: encostas estruturais dissecadas, interflúvios aplainados, vales estruturais, rampas de colúvio e terraços colúvio-aluviais de vales estruturais.

3.2 ESTRATIGRAFIA DA BACIA SEDIMENTAR DE VOLTA REDONDA

Estudando a Bacia de Volta Redonda, AMADOR & CASTRO (1976 *apud* SANSON, 2006), identificaram duas principais unidades para seus depósitos: camadas terciárias pré-Formação Volta Redonda, compostas principalmente por arenitos fluviais, e a Formação Volta Redonda, composta por conglomerados, arenitos feldspásticos e argilitos de origem fluvial. MELO et al. (1983) e RICCOMINI (1989) reuniram estes depósitos em uma única unidade estratigráfica, denominada Formação Resende.

A estratigrafia da bacia sofreu uma revisão no trabalho SANSON (2006), chegando às seguintes unidades (Figuras 3 e 4):

- Formação Ribeirão dos Quatis: caracterizada pela presença predominante de depósitos conglomeráticos, sendo interpretada como um sistema fluvial entrelaçado conglomerático. Na Bacia de Volta Redonda, tem ocorrência descontínua.
- Formação Resende: a maior parte da deposição paleogênica corresponde a esta formação, e tem como característica principal a presença de arenitos maciços e arenitos lamosos. Esta formação é interpretada como um sistema fluvial de alta energia, com episódios de inundação significativos.
- Basanito Casa de Pedra: rochas ultrabásicas alcalinas que cortam os depósitos da formação Resende. Localiza-se no oeste do gráben da Casa de Pedra.
- Formação Pinheiral: representada por arenitos estratificados, conglomerados, e sedimentação pelítica. A formação é interpretada como um sistema fluvial arenoso de baixa sinuosidade.
- Sedimentos neogênicos: representa a cobertura de colinas suaves por depósitos arenoargilosos, castanho-amarelados.
- Sedimentos quaternários: serão tratados com maior detalhe no próximo ítem (3.3)

A evolução tectônica da Bacia Sedimentar de Volta Redonda é caracterizada por quatro fases distintas (Figura 3). A primeira fase tectônica, denominada E1, caracteriza-se por uma extensão NW-SE, de idade paleogênica. Na transição entre o Oligoceno e o Mioceno se instala a fase tectônica TS, de transcorrência sinistral E-W. Durante o Quaternário destacam-se duas fases tectônicas distintas: a primeira, denominada TD, de transcorrência dextral E-W; e a última, E2, de extensão NW-SE, de idade holocênica.



Figura 3 - Coluna estratigráfica da Bacia de Volta Redonda e eventos tectônicos cenozoicos reconhecidos (SANSON, 2006).



Figura 4 - Mapa geológico da Bacia de Volta Redonda (modificado de SANSON, 2006). Em preto, os limites da bacia hidrográfica do Ribeirão dos Três Poços.

3.3 EVOLUÇÃO DA PAISAGEM DURANTE O HOLOCENO

No médio vale do rio Paraíba do Sul, a reconstituição do arcabouço sedimentar com base na definição de unidades limitadas por descontinuidades – unidades aloestratigráficas – e dentro de uma perspectiva morfoestratigráfica – enfatizando a relação genética entre o depósito e a forma topográfica, como propõem MEIS & MOURA (1984) – permitiu identificar várias fases de encaixamento fluvial e remodelamento das encostas (MOURA & MELLO, 1991; MOURA et al, 1991). MOURA & MELLO (1991) propuseram uma coluna estratigráfica para a região de Bananal (Figura 5), porém representativa regionalmente.

Segundo MOURA & MELLO (1991), os registros mais antigos da sedimentação quaternária, reconhecidos regionalmente, correspondem a depósitos coluviais da Aloformação Santa Vitória e da Aloformação Rio do Bananal, ambas de idade pleistocênica.

O início do Holoceno é marcado por uma deposição argilosa, de origem flúvio lacustre (Aloformação Rio das Três Barras), e, posteriormente por uma fase de coluviação (Aloformação Cotiara) e de deposição arenosa de origem fluvial (Aloformação Rialto).

O principal evento holocênico registrado (Aloformação Manso) foi responsável pelo entulhamento generalizado dos vales fluviais, ainda hoje preservado na morfologia pela expressão espacial significativa do nível de terraço fluvial mais elevado (T1) e pelas feições de cabeceiras e sub-bacias entulhadas (Figura 6). Segundo MELLO (1992), houve um grande episódio erosivo que produziu grande quantidade de sedimentos, que excedeu a capacidade dos cursos fluviais para transportá-los, sendo, então, progressivamente entulhados (fácies Campinho), o que elevou o nível de base local, provocando a retenção de sedimentos coluviais cada vez mais próximos da área fonte (fácies Fazendinha) e o preenchimento dos canais erosivos por materiais de natureza alúvio-coluvial (fácies Quebra-Canto). A magnitude desse suprimento sedimentar foi responsável pela desarticulação das cabeceiras de drenagem em anfiteatro em relação às calhas fluviais, visto que os fundos de vale sofreram um entulhamento generalizado (PEIXOTO, 1993).



Figura 5 – Coluna estratigráfica do Quaternário superior da região de Bananal (SP/RJ). A denominação domínios de encosta e fluvial refere-se aos compartimentos geomorfológicos onde os depósitos são encontrados, não indicando, necessariamente, sua gênese. (MOURA & MELLO, 1991)



Figura 6 – Modelo esquemático do registro sedimentar preservado na região do Médio Vale do Rio Paraíba do Sul, destacando os principais eventos da dinâmica evolutiva dos sistemas de drenagem e as idades radiocarbônicas (MELLO et al., 1995).

O reencaixamento da drenagem resultou no esvaziamento total ou parcial dos fundos de vale e reentrâncias (*hollows*) entulhados, assim como no reafeiçoamento das encostas, dando origem a novos ciclos de sedimentação fluvial (Aloformação Resgate) e deposição coluvial (Aloformação Piracema).

Apontada como a fase mais recente de reafeiçoamento das encostas, a Aloformação Carrapato documenta a drástica intervenção relacionada à eliminação da Mata Atlântica para introdução das plantações de café no vale do Paraíba, que tem início em meados de 1790 na região considerada, tornando-se a principal atividade econômica até o final do séc. XIX. Disposta em contato erosivo sobre os depósitos coluviais subjacentes, está delimitada em sua base por fragmentos de carvão alinhados, com idade radiocarbono 160 ± 60 anos B.P. (Mello *et al*, 1995). A contemporaneidade com as idades obtidas para troncos e carvões encontrados na porção média e superior de depósitos aluviais dos baixos terraços fluviais (240 ± 50 anos B.P. e 130 ± 60 anos B.P. – Mello *et al*, 1995), reunidos sob a denominação Aloformação Resgate (cuja porção basal foi datada em 1060 ± 70 anos B.P.) documenta a intensificação dos processos erosivos vinculados à remoção da cobertura vegetal primitiva nas encostas, com conseqüente incremento do aporte sedimentar para os cursos fluviais (MADEIRA et al, 1999).

Estudos palinológicos dos depósitos da Aloformação Carrapato e da Aloformação Resgate, bem como a deposição polínica recente nas cabeceiras e fundos de vale (BARROS et al, 1993; 1999; COSTA et al, 1999; MORAIS et al,1999), evidenciam a redução gradual dos *taxa* relacionados à Mata Atlântica e o aumento de gramíneas e plantas ruderais em direção ao topo destas sucessões sedimentares, associando-se claramente às mudanças no uso e ocupação da terra.

3.4 CARACTERÍSTICAS LOCAIS DA BACIA DO RIBEIRÃO DOS TRÊS POÇOS

A bacia hidrográfica do Ribeirão dos Três Poços está inserida nos domínios da bacia sedimentar de Volta Redonda, abrangendo o gráben da Casa de Pedra, local de importante sedimentação paleogênica. O mapa geológico da CPRM (2007), na escala 1:100.000, identificou apenas a Formação Resende no gráben, mas sabe-se que nos topos dos morros e colinas da bacia de Volta Redonda é encontrada a Formação Pinheiral, conforme SANSON (2006) (Figura 4). As falhas normais delimitadoras do gráben possuem direção NE-SW. Segundo CPRM (2007), a litologia do embasamento cristalino é representada pelo Granito Resgate, a sul, e pelo Silimanita Gnaisse Bandado, a norte. Depósitos aluvionares são encontrados no curso principal (figura 7).

As estruturas de direção ENE-WSW/NE-SW do embasamento cristalino, também encontrada no falhamento do gráben da Casa de Pedra, influenciou a formação dos canais fluviais. Na bacia do Ribeirão dos Três Poços, nota-se que a maioria dos canais de até 2^a ordem, segundo método de Strahler, segue essa direção.

A bacia do Ribeirão dos Três Poços possui uma assimetria em relação ao canal principal, que se encontra próximo ao limite leste da bacia. Em relação aos padrões de drenagem, os canais de 2ª ordem apresentam um padrão paralelo, principalmente aqueles de direção NE-SW. Existem diversos trechos que sugerem um padrão retangular, principalmente no alto curso da bacia, na região limítrofe entre o embasamento cristalino e o gráben da Casa de Pedra

Segundo o mapa de geodiversidade da CPRM (2002), na escala de 1:1.000.000, o relevo da bacia é caracterizado por tabuleiros no gráben da Casa de Pedra, e morros e serras baixas localizadas no embasamento cristalino ao sul e ao norte do gráben.

Numa outra interpretação, o mapa geomorfológico do Projeto Rio de Janeiro da CPRM (2000), na escala de 1:250.000, classifica a área da bacia como Domínio Colinoso

(zona típica do domínio de "mar de morros"), caracterizado por relevo de colinas pouco dissecadas, com vertentes convexo-côncavas e topos arredondados ou alongados, com sedimentação de colúvios e alúvios; e ocorrência subordinada de morrotes alinhados e morros baixos.

MELLO et al (2005), em estudo mais detalhado, apresentaram os seguintes domínios geológico-geomorfológicos para a Bacia de Volta Redonda (e que são encontrados na bacia do Ribeirão dos Três Poços):

- Planície fluvial da bacia de Volta Redonda: depósitos sedimentares do rio Paraíba do Sul, de idade quaternária;
- Morros em degraus topográficos sobre substrato cristalino: compartimentos de morros dissecados, compondo degraus. As estruturas do embasamento cristalino controlam os compartimentos de orientação NE-SW, e situam-se entre a planície fluvial do rio Paraíba do Sul e as colinas do Gráben Casa de Pedra;
- Colinas do Gráben da Casa de Pedra: colinas suaves e pouco dissecadas, desenvolvidas sobre os depósitos paleogênicos que preenchem o gráben. O contato entre o embasamento cristalino e o gráben, representado pelas falhas normais, tem repercussão forte na topografia das encostas e vales, formando áreas onde as drenagens são estranguladas ("gargantas").



Figura 7 – Mapa geológico da bacia do Ribeirão dos Três Poços. Projeção UTM, datum WGS 1984, fuso 23S. Fonte de dados (litologia): SANSON (2006) e CPRM (2007).

4 REVISÃO CONCEITUAL DO CONCEITO DE BALANÇO SEDIMENTAR

Ao analisar o balanço sedimentar para uma pequena bacia hidrográfica – $16,2 \text{ km}^2$ – DIETRICH & DUNNE (1978) relataram a necessidade de quantificar e relacionar os principais processos responsáveis pela geração e transporte de sedimentos. Porém, essa tarefa é complexa, pois os processos são frequentemente lentos e altamente variáveis no espaço e no tempo. No estudo, os autores apresentaram uma descrição qualitativa da produção de sedimentos e processos de transporte e um balanço sedimentar quantitativo. Desta forma, foi elaborado um balanço sedimentar baseado em mapeamentos de campo e taxas de processos estimadas de outros estudos, principalmente taxas para o rastejamento de solo (*soil creep*) no transporte de sedimentos da encosta e descargas para os canais fluviais, e o papel do fluxo de detritos. Por fim, os autores sintetizam os processos que controlam o balanço sedimentar na bacia hidrográfica estudada (Figura 8).



Figura 8 – Modelo de balanço sedimentar para a bacia Rock Creek, Coast range, Oregon, EUA. (redesenhado e traduzido de DIETRICH & DUNNE, 1978). Retângulos representam sistemas de estocagem. Octógonos indicam processos de transferência. Círculos representam as saídas. Linhas sólidas representam a transferência de sedimentos e linhas tracejadas representam migração de solutos.

REID & DUNNE (1996) definiram que o balanço sedimentar trata-se de um cálculo das fontes e disposição de sedimentos na medida em que estes se deslocam desde o seu ponto de origem até a sua eventual saída de uma bacia de drenagem. Estes autores também apontam sete etapas principais para a construção de um balanço sedimentar: definir o problema; adquirir informações existentes; subdividir a área; interpretar fotografias aéreas, realizar estudos de campo; analisar os dados; e checar os resultados.

A elaboração de estimativas de balanço de sedimentos através do estudo de registros sedimentares fluviais constitui um tema importante na literatura geomorfológica mais recente. BRIERLEY & MURN (1997), BRIERLEY & FRYIRS (1998), FRYIRS & BRIERLEY (1999), BROOKS & BRIERLEY (2004) e vários outros estudos realizados na Austrália, por exemplo, identificam uma retomada erosiva sobre grandes depósitos de preenchimento de vale em meados do século XIX, e alterações profundas na rede de drenagem, devido ao desmatamento e drenagem de pântanos, causados pelo assentamento europeu, que fizeram com que os cursos de água, outrora descontínuos, se tornassem contínuos. O resultado deste processo foi a aceleração acentuada da incisão do canal nos depósitos sedimentares pretéritos e da erosão de suas margens, em poucas décadas, liberando grande quantidade de sedimentos para o sistema fluvial, porém apresentando padrões diferenciados espacialmente, já que as bacias mostram internamente comportamentos distintos em relação à capacidade de transferência dos sedimentos removidos. Situação similar é apontada por FOSTER et al. (2009) que, estudando uma bacia hidrográfica no noroeste da Inglaterra, identificaram mudanças substanciais no regime deposicional, com aumento e variação do suprimento sedimentar ocasionados por ciclos de corte e preenchimento fluvial ("cut and fill"), e maior migração lateral dos canais, associados ao intervalo dos últimos 3.000 mil anos. As mudanças documentadas também coincidiram com a redução da cobertura florestal e a ampliação das atividades agrícolas, evidenciando-se a influência antrópica nestas alterações.

Em uma abordagem integrada sobre o encadeamento sedimentar (*sediment cascades*), BURT & ALLISON (2010) relatam que os primeiros estudos sobre balanço sedimentar tinham um foco na erosão, principalmente nos Estados Unidos, onde a Equação Universal do Solo (USLE na sigla em inglês) foi derivada de uma grande quantidade de dados de pesquisa de erosão das terras agrícolas, para investigar padrões de longo-prazo e tendências na erosão do solo. WALLING (1983) *apud* BURT & ALLISON (2010) critica que poucos estudos desvendaram a "caixa preta da evasão de sedimentos (*sediment delivery*). A taxa de evasão de sedimentos (*sediment delivery ratio*) consiste na ligação entre a taxa de erosão dos solos e a produção de sedimentos na saída da bacia (*basin outlet*). BURT & ALLISON (2010) concluem que mesmo com muitas questões sobre a evasão de sedimentos já respondidas, ainda existe a necessidade em qualquer situação de quantificar os principais processos responsáveis pela geração e transporte de sedimentos sobre qualquer que seja o sistema geomorfológico estudado.

Conforme já foi descrito no item 3.4, existem diversos estudos que contribuíram para a compreensão da evolução da paisagem durante o Holoceno no Sudeste brasileiro (MEIS & MOURA, 1984; MOURA & MELLO, 1991; MOURA et al, 1991; MELLO, 1992; PEIXOTO, 1993; entre outros). Podemos destacar também as alterações ambientais documentadas por estudos que vêm apontando modificações sedimentares, hidrológicas e morfológicas associadas ao desmatamento, introdução, abandono e substituição da cultura cafeeira e ocupação urbana (DANTAS, 1995; BARROS et al, 2000; OLIVEIRA et al, 2005; entre outros).

Por outro lado, poucas foram as tentativas de estimar o balanço sedimentar em bacias hidrográficas na região, mesmo com a existência de muitos mapeamentos de feições deposicionais e erosivas (PEIXOTO, 1993; PINTO, 2009; BARROS, 2011; entre outros). Em uma dessas tentativas, DANTAS (1995) analisou a estocagem diferencial de sedimentos na bacia do rio Piracema, identificando uma taxa de sedimentação de 97.000 m³/ano e rebaixamento de 7,5 cm durante o ciclo cafeeiro. Segundo o autor, durante a transição Pleistoceno-Holoceno as taxas de sedimentação alcançaram 38.000 m³/ano, com rebaixamento de 30 m nas concavidades.

BARROS et al (2007) avaliaram o balanço sedimentar durante o Holoceno da subbacia do Córrego do Resgate, afluente do rio Bananal. O estudo estimou o volume sedimentar remobilizado dos depósitos oriundos do entulhamento ocorrido durante o evento Manso, e depositados em terraços inferiores ou evadidos da bacia. Tais depósitos são representados pelas feições de terraços e pelas rampas de alúvio-colúvios, situadas nos fundos de vale e cabeceiras de drenagem. A figura 9 apresenta o método de estimativa volumétrica utilizado por BARROS et al (2007).


Figura 9 – Modelo utilizado por BARROS et al (2007) para a medição do volume das rampas e terraços.

Os resultados de BARROS et al (2007) mostram uma significativa preservação das feições de terraço superior e rampas de alúvio-colúvio. Apesar de 85% dos sedimentos originalmente entulhados permanecerem na bacia, o estudo mostra que do total de sedimentos remobilizados, apenas 10%, aproximadamente, foram estocados no nível de terraço inferior, o que significa uma alta evasão dos sedimentos que foram erodidos (Figura 10).



Figura 10 – Esquema mostrando o balanço sedimentar da sub-bacia Córrego do Resgate, a partir do Evento Manso. A cronologia dos fatos é de cima para baixo. É representada, entre parênteses, a notação utilizada na tabela 2 (BARROS et al, 2007).

Recentemente, DEL POZO (2011) mapeou as feições deposicionais e erosivas e discutiu a conectividade na bacia do Ribeirão dos Três Poços – área de estudo da presente pesquisa – apontando um grau de conectividade maior para o compartimento do Gráben Casa de Pedra, indicando, porém, que o padrão geral de vales entulhados não foi alterado substancialmente pelas incisões erosivas, apesar destas terem desempenhado, pontualmente, um papel importante no estabelecimento da conectividade lateral.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste estudo, a análise do balanço sedimentar foi realizada em três etapas principais. A primeira etapa consiste no mapeamento das feições deposicionais e erosivas de fundos de vale e cabeceiras de drenagem da bacia. A segunda tem como foco o levantamento estratigráfico dos depósitos holocênicos associados ao preenchimento dos fundos de vale e cabeceiras de drenagem da bacia dos Três Poços, já documentado regionalmente por MOURA & MELLO (1991), objetivando um breve reconhecimento sedimentológico, a identificação da espessura dos depósitos, e uma validação morfoestratigráfica. A terceira trata dos cálculos volumétricos do balanço sedimentar propriamente, quantificando a entrada e saída de sedimentos durante o Holoceno.

Contribuindo para a compreensão das abordagens acima explicitadas, os dados obtidos por datações radiocarbono disponíveis na literatura se apresentam fundamentais para este estudo, pois, como aponta BROWN et al. (2009), as investigações quantitativas de balanço sedimentar pressupõem uma determinação da idade dos sedimentos estocados (cronoestratigrafia).

A seguir serão apresentados as bases e procedimentos técnicos específicos deste estudo.

5.1 MAPEAMENTO DE FEIÇÕES DEPOSICIONAIS E EROSIVAS DE FUNDOS DE VALE CABECEIRAS DE DRENAGEM

A identificação das feições deposicionais de fundos de vale e cabeceiras de drenagem presentes na bacia baseou-se na compilação elaborada por MOURA & SILVA (1998), que reuniu as metodologias de reconhecimento morfoestratigráfico no sudeste do Brasil (MEIS & MOURA, 1984; MOURA & MELLO, 1991; MOURA et al, 1991; etc.). MOURA & SILVA (1998) apontam o mapeamento de feições deposicionais quaternárias em cabeceiras e subbacias de drenagem em anfiteatros como etapa fundamental para o reconhecimento da distribuição espacial dos sedimentos e solos quaternário, bem como para a individualização de áreas propícias à ocorrência de processos erosivos.

No presente estudo, foram consideradas as seguintes feições deposicionais holocênicas resultantes do entulhamento ocorrido durante o Evento Manso, e episódios subsequentes

(Tabela 1): rampas de alúvio-colúvio, rampas de alúvio-colúvio reafeiçoadas, terraço superior e níveis inferiores de sedimentação (também interpretado como terraços recentes).

FEIÇÕES DEPOSICIONAIS QUATERNÁRIAS	SIGNIFICADO MORFOLÓGICO
Rampas de Alúvio-colúvio	Feições de geometria plana, horizontal a sub-horizontal, encontradas em <i>hollows</i> e fundos de vale não-canalizados, que apresentam ruptura abrupta com as encostas laterais e estão associadas a um fase de entulhamento de antigos canais erosivos holocênicos por materiais alúvio-coluviais (evento Manso).
Rampas de Alúvio-colúvio Reafeiçoadas	Rampas de alúvio-colúvio que apresentam suavização da ruptura entre as encostas laterais e a reentrância plana, devido ao reafeiçoamento por coluviações posteriores à fase de entulhamento alúvio-coluvial.
Terraço Superior	Nível mais elevado de sedimentação fluvial, relacionado à fase de entulhamento dos eixos de drenagem no Holoceno (evento Manso); constituem a extensão topográfica das rampas de alúvio-colúvio no domínio fluvial.
Níveis Inferiores de Sedimentação (Terraços Recentes)	Associados às fases de encaixamento e deposição fluvial posteriores ao evento Manso.

Tabela 1 – Feições deposicionais quaternárias e seus significados morfológicos (MOURA & SILVA, 1998).

As áreas entulhadas durante o evento Manso e que posteriormente foram esvaziadas (totalmente ou parcialmente) durante as fases de encaixamento, são consideradas fundos de vale esvaziados, segundo metodologia preconizada por Peixoto (1993). No presente estudo, da mesma forma que BARROS (2011), foram tratados como áreas esvaziadas: os fundos de vale esvaziados; as feições erosivas (voçorocas remontantes e entalhamentos) atuantes no ambiente fluvial e de encosta; e e os canais fluviais embrejados.

Para o mapeamento utilizou-se as seguintes bases cartográficas:

- Fotografias aéreas na escala de 1:25.000 do ano de 2005 (ortofotomosaicos obtidos por processo aerofotogramétrico digital pelo IBGE em 2008);
- Modelo Digital de Elevação (MDE) na escala de 1:25.000 (realizado pelo IBGE em 2007);

• Imagens de satélite GeoEye e DigitalGlobe do ano de 2012 (*software Google Earth*).

A figura 11 sintetiza as etapas de mapeamento das feições deposicionais e erosivas da bacia.



Figura 11 – Etapas de mapeamento das feições deposicionais e erosivas. No momento 1 analisa-se as imagens de satélite. No momento 2 utiliza-se as curvas de nível para delimitar o traçado. O momento 3 mostra o mapeamento elaborado.

A utilização do MDE permitiu a extração de curvas de nível com intervalos de 1 metro, através do *software ArcGis 9*, pela ferramenta de análise denominada "*contour*". As

curvas de nível, mesmo contendo erros inerentes da interpolação (onde houve ampliação da escala), permitiram um mapeamento mais fiel das feições deposicionais e erosivas abordadas.

As imagens de satélite provenientes de *software Google Earth* foram utilizadas apenas como consulta para situações onde as fotografias aéreas não eram conclusivas, pois apresentam uma resolução espacial menor (*pixels* menores).

5.2 ANÁLISE DAS SUCESSÕES SEDIMENTARES EM TERRAÇOS FLUVIAIS

O presente estudo ao detalhar as sucessões sedimentares holocênicas, considerando as aloformações do estudo de MOURA & MELLO (1991) como base (Figura 5), tenta contribuir para a interpretação paleoambiental dos depósitos holocênicos, no âmbito do domínio da bacia sedimentar de Volta Redonda e adjacências.

Para análise dos estratos sedimentares holocênicos da bacia hidrográfica do Ribeirão dos Três Poços, foram realizados levantamentos de campo nos principais afloramentos situados ao longo dos canais fluviais.

O levantamento da granulometria e estruturas sedimentares foi realizado *in loco*, através de identificação táctil-visual. Desta forma, foram construídos perfis e seções estratigráficos de diversos níveis de sedimentação da bacia hidrográfica.

Através dos dados levantados em campo, identificaram-se as fácies características dos depósitos, e construiu-se a respectiva tabela de fácies que apresenta o código, a diagnose, a correspondência com as fácies propostas por MIALL (1996) e a interpretação paleoambiental dos estratos.

5.3 ESTIMATIVA DO BALANÇO SEDIMENTAR

Os procedimentos para a obtenção de um balanço sedimentar dependem de dois fatores principais: o objeto estudado (bacia, rio, cabeceira, segmento de rio, etc.) e o período no qual se pretende realizar a avaliação (escala temporal). O objeto estudado pode ser entendido como uma feição geomorfológica qualquer, em diversos níveis de escala – desde feições com poucos metros até áreas continentais – como rios, praias, ilhas fluviais, barras de sedimentos, bacias hidrográficas, etc. Mesmo com o objeto de estudo definido, a escala temporal que será utilizada dependerá dos objetivos que se pretende atingir na pesquisa. Desta forma, o balanço sedimentar pode avaliar a dinâmica entre um dia sem chuvas e um dia com

tempestades; entre verão e inverno; entre um ano mais seco e um ano mais chuvoso; dentre outras possibilidades.

Uma premissa importante para que possa se efetuar um balanço sedimentar é que haja uma modificação ou uma expectativa de modificação da paisagem. Desta maneira, pode-se realizar desde estudos referentes a algum evento erosivo e/ou deposicional do passado, como pode-se monitorar a evolução de uma barra arenosa *in situ* em tempo real. Em tese, qualquer paisagem está sujeita a modificações sob um determinado período e uma determinada taxa, diante da dinâmica erosiva e deposicional. Porém, a análise do balanço sedimentar só se torna interessante cientificamente quando alguma modificação significativa ocorreu ou tem possibilidades de ocorrer - não desconsiderando o fato que se pode desejar analisar a estabilidade de uma área através de uma estimativa de balanço sedimentar.

Diante do que foi acima exposto, fica claro que os procedimentos metodológicos e/ou técnicos de uma análise de balanço sedimentar podem variar bastante de um estudo para o outro, que dependerão dos anseios dos autores, do objeto estudado e da escala temporal utilizada.

Neste estudo, a motivação para uma análise do balanço sedimentar se originou do conhecimento da região de estudo em questão, o Médio Vale do rio Paraíba do Sul, bastante estudado por diversos autores (conforme discutido no ítem 3.4). Os estudos anteriores proporcionaram um melhor conhecimento da evolução geológico-geomorfológica quaternária da região e também permitiram que uma análise de balanço sedimentar pudesse ser realizada com uma escala temporal já pré-definida. Desta forma, a presente análise do balanço sedimentar tem como ponto de partida o entulhamento generalizado dos vales fluviais e cabeceiras de drenagem ocorrido no evento Manso (MOURA & MELLO, 1991; MELLO, 1992) e, em sequência, avalia a retomada erosiva que provocou o reencaixamento da drenagem e a sedimentação de níveis inferiores.

Diante deste cenário, a análise do balanço sedimentar se apresenta como uma ferramenta que possibilita conhecer melhor a magnitude destes eventos holocênicos, e auxiliar na interpretação da evolução da paisagem. Para tanto, o cálculo do volume de deposição e volume removido, assim como a estimativa da profundidade da cunha sedimentar nos locais de sedimentação atual, são parâmetros cruciais para a obtenção do balanço sedimentar holocênico em questão.

5.3.1 Cálculo do volume de deposição

O mapeamento das feições deposicionais e erosivas permitiu a obtenção dos valores de área de cada feição (*A*), através do *software ArcGis 9*, pela função "*calculate geometry*". Os valores de área estão de acordo com a projeção cartográfica UTM (fuso 23s) e datum WGS 1984, oriundos das bases cartográficas utilizadas.

O levantamento estratigráfico realizado nos depósitos holocênicos da bacia, além de proporcionar um melhor conhecimento da sedimentação, também permitiu reconhecer a espessura (*h*) desses depósitos. As espessuras de feições que não puderam ser levantadas em campo foram estimadas por semelhança da configuração geomorfológica e/ou pela proximidade às espessuras levantadas.

A partir dos valores de área e espessura de cada feição se calculou o respectivo volume, através de dois modelos. O primeiro considerou a espessura (h) dos depósitos como constante, ou seja, não ponderou variações ao longo dos limites subsuperficiais das feições. Segundo este método, o volume é calculado pelo produto (multiplicação) da área (A) da feição pela espessura (h), conforme a expressão a seguir:

 $V = A \times h$ Equação 1

onde:

V é o volume da feição;

A é área da feição;

h é a espessura do depósito.

O segundo modelo não considerou a espessura como constante, e consistiu em assumir os preenchimentos de vale como semi-cilindros, quando classificados como terraços fluviais ou níveis inferiores de sedimentação, e elipsoides, quando classificados como rampas de alúvio-colúvio (reafeiçoadas ou não). Para os cálculos, estas formas geométricas foram assumidas como sólidos "perfeitos", isto é, as áreas das feições, que naturalmente possuem formas geométricas diversas na superfície, são consideradas como áreas de forma geométrica conhecida, pelas equações consideradas.

O volume do cilindro é obtido pela seguinte equação:

$$V = \pi r^2 h \qquad Equação 2$$

onde:

V é o volume do cilindro;

r é o raio da base;

h é a altura do cilindro (Figura 12).



Figura 12 – O cilindro e suas medidas. O cilindro da direita mostra o modelo esquemático do semi-cilindro, utilizado para calcular o volume de sedimentos dos terraços e os níveis inferiores de sedimentação, onde o volume sedimentar é representado pela cor amarela.

O volume do semi-cilindro, considerado nos terraços fluviais e níveis inferiores de sedimentação, corresponde à metade do volume obtido pela equação 2. E, como na realidade o semi-cilindro foi calculado na horizontal – conforme o cilindro direito da figura 12 - r corresponde à espessura do depósito, e a área da feição (*A*) – calculada no *software ArcGis 9* – é igual ao produto do diâmetro da base pela altura, que pode ser observada na equação a seguir.

$$A = 2rh \text{ ou } h = \frac{A}{2r}$$
 Equação 3

Onde:

A é a área do retângulo que corta o cilindro em duas metades iguais, ou seja, a área da feição (calculada através do *software ArcGis 9*);

r é o raio do cilindro;

h é a altura do cilindro.

Substituindo a equação 3 na equação 2, é possível obter o volume do semi-cilindro pela seguinte equação:

$$V = \left[\frac{\pi r^2 \left(\frac{A}{2r}\right)}{2}\right] \qquad \qquad Equação \ 4$$

onde:

V é o volume do semi-cilindro;

A é a área do retângulo que corta o cilindro em duas metade iguais;

r é o raio do cilindro;

h é a altura do cilindro.

O volume do elipsoide, considerado para as feições de rampas de alúvio-colúvio, é obtido através da equação abaixo:

$$V = \left(\frac{4}{3}\right)\pi abc \qquad \qquad Equação 5$$

onde:

V é o volume do elipsoide;

a, **b** e **c** são os eixos do elipsoide (Figura 13).



Figura 13 – O elipsoide e suas medidas. Em vermelhos os eixo a, b e c do elipsoide. A figura da direita mostra a quarta parte do elipsoide, utilizada para calcular o volume das rampas de alúvio-colúvio.

O volume das rampas, neste caso, foi considerada como sendo 1/4 do volume do elipsoide da equação 5, conforme a figura 13. Desta maneira, considerando a área da elipse formada pelos eixos *a* e b, tem-se que a área da feição, calculada previamente, é igual à metade da área desta elipse:

$$2A = \pi ab \text{ ou } A = \left(\frac{\pi ab}{2}\right)$$
 Equação 6

onde:

A é a área da feição;

a e b são os eixos da elipse.

Substituindo a equação 6 na equação 5, e considerando apenas um quarto do elipsoide, tem-se que o volume da feição de rampa de alúvio-colúvio é:

 $V = \frac{\left\lfloor \left(\frac{4}{3}\right)2Ah\right\rfloor}{4}$ Equação 7

onde:

v é o volume da quarta parte do elipsóide;

A é a área da metade da elipse que corta o elipsoide ao meio;

h é a espessura da feição (correspondente ao eixo c do elipsoide).

Ambos os modelos tem suas vantagens e limitações. O primeiro modelo tende a ser mais fiel nos terraços fluviais, onde o aspecto de "paralelepípedo" é esperado em feições alongadas. Este método também consegue reproduzir as situações onde a espessura da rampa de alúvio-colúvio tem medidas similares ao do terraço fluvial. Já o segundo modelo, ao adotar o semi-cilindro nas feições de ambiente fluvial, e o elipsóide nas feições de encosta, está mais de acordo com as investigações em subsuperfície de estudos efetuados na região, conforme a figura 14.



Figura 14 – Bloco diagrama com a reconstituição estratigráfica da Seção Bela Vista, situada na estrada Bananal (SP) - Rialto(RI), a 13 km de Bananal. A e **B** constituem *hollows* côncavos, demonstrando em sua estrutura subsuperficial sucessivos retrabalhamentos de unidades coluviais; **C** e **D** correspondem a *hollows* côncavos-planos, destacando-se em subsuperfície a presença de depósitos alúvio-coluviais. **D** apresenta-se parcialmente reafeiçoado Fonte: MOURA et al (1991).

A figura 14, retirada do estudo de MOURA et al (1991), permite a observação das feições de rampas de alúvio-colúvio em *hollows* côncavos-planos (HCP). Na sedimentação

holocênica ligada ao evento Manso (Aloformação Manso), os limites subsuperficiais sugeridos são arredondados na base, e suavizados nas encostas laterais, indo ao encontro do modelo do elipsoide. Se a espessura dos depósitos da Aloformação Manso diminuírem gradativamente em direção a alta encosta, o modelo do elipsoide é o mais fiel às rampas de alúvio-colúvio.

Em relação à fidelidade das feições de terraço fluvial e níveis inferiores de sedimentação, a figura 6 mostra que os dois modelos podem atender as estimativas de volume, porém a expectativa é que haja uma ligeira subestimação no modelo do semicilindro, e uma ligeira superestimação no modelo com espessura constante.

Desta forma, o presente estudo trabalhou o primeiro modelo (de espessura constante) como o máximo de entulhamento que o evento Manso pode ter provocado, e o segundo modelo (do elipsoide e semi-cilindro) como o mínimo aceitável para o mesmo.

5.3.2 Cálculo do volume removido

O volume removido dos depósitos sedimentares (feições deposicionais) foi calculado a partir das áreas esvaziadas. Igualmente ao cálculo das feições deposicionais, foram utilizados os mesmos dois modelos relatados no item anterior.

Para o cálculo do volume pelo modelo da espessura (*h*) constante das áreas esvaziadas, considerou-se a mesma espessura (h) obtida dos levantamentos estratigráficos, e foi gerado o produto (multiplicação) entre esta e a área da feição (equação 1).

Para o modelo do semi-cilindro e do elipsoide, o procedimento foi o mesmo, e foram utilizadas as equações 4 e 7, respectivamente.

5.3.3 Espessura da cunha sedimentar atual

A cunha sedimentar pode ser definida como a atual zona de deposição do canal fluvial atual, até os limites com o substrato rochoso. Para a obtenção desta profundidade com a mínima margem de erro, seriam necessários estudos detalhados com o uso de aparelhos geofísicos (tais como GPR), ou uma exaustiva campanha de sondagem em campo, com trados. Contudo, no presente estudo a profundidade da cunha sedimentar foi estipulada arbitrariamente em 1 metro, apenas para estimar o volume sedimentar atualmente em deposição ou transferência nos canais fluviais.

6. RESULTADOS

6.1 DESCRIÇÃO GEOMORFOLÓGICA

A bacia do Ribeirão dos Três Poços apresenta significativos depósitos sedimentares holocênicos, identificados tanto sobre as rochas do embasamento cristalino quanto sobre a bacia sedimentar de Volta Redonda, conforme a figuras 15.

Na bacia do Ribeirão dos Três Poços foram identificadas as seguintes feições deposicionais de fundos de vale: terraço superior, retratando o nível de entulhamento ocorrido no Evento Manso; rampas de alúvio-colúvio, também retratando a sedimentação do Evento Manso, no no ambiente de encosta e de fundos de vale; rampas de alúvio-colúvio reafeiçoadas, que sofreram remodelamento da superfície original da rampa, devido às coluviações posteriores; níveis inferiores de sedimentação, resultantes dos episódios de sedimentação posteriores ao evento Manso, e dispostos em forma de pequenos terraços – em virtude de eventos erosivos posteriores à sedimentação; e sedimentação atual, que corresponde às áreas onde os sedimentos estão sendo acumulados ou transportados atualmente.

Em relação às feições erosivas, foi delimitada apenas uma categoria, denominada "áreas esvaziadas", que englobam: os fundos de vale esvaziado, que correspondem às áreas inicialmente entulhadas pela sedimentação do Evento Manso, porém completamente erodidas posteriormente; entalhamento, resultante da retomada erosiva pós-Evento Manso, onde os canais fluviais entalharam os depósitos quaternários; e voçoroca, que representa a ação erosiva concomitante ao entalhamento, incidente nas áreas de encosta.



Figura 15 – Mapa de feições deposicionais e erosivas da bacia do Ribeirão dos Três Poços. As drenagens se apresentam deslocadas, e sem precisão cartográfica, devido à escala de origem do vetor. Os levantamentos sedimentológicos dos depósitos holocênicos foram realizados nos retângulos em destaque (A, B e C), e serão detalhados na figura 22.

No trecho sul da bacia, na região do embasamento cristalino, nota-se a presença de fundos de vale esvaziados nos vales encaixados na direção NE-SW. O canal fluvial mais próximo à falha sul da bacia sedimentar de Volta Redonda, se encontra ainda em processo de esvaziamento, pois possui vestígios de rampa de alúvio-colúvio – que sofre erosão intensa de uma voçoroca – e do terraço superior (Figura 16). O esvaziamento de todos estes vales do setor sul proporcionou a agradação fluvial a jusante – em áreas que também foram esvaziadas – configurando novos níveis de sedimentação.



Figura 16 – Voçoroca remobilizando atualmente sedimentos quaternários e do embasamento cristalino. Notar os vestígios da rampa de alúvio-colúvio assinalados nas bordas da voçoroca.

No setor sudeste da bacia, ainda no domínio do embasamento cristalino (bloco C da figura 8), o entulhamento sedimentar proporcionado pelo Evento Manso é identificado em um complexo de rampas de alúvio-colúvio que convergem para o eixo principal da drenagem, formando extensa área de Terraço Superior (T1). A sedimentação nesta área encontra-se bem preservada – como será apresentado no item 5.1 – e, além disso, existem feições deposicionais típicas de aluvial na área em questão (Figura 17). O entalhamento que incidiu sobre estes depósitos foi considerável – aproximadamente 7 metros de profundidade – e as voçorocas, situadas nas rampas, estão conectadas ao corte da incisão fluvial.



Figura 17 – Rampas de alúvio-colúvio (RAC) desembocando numa grande feição de terraço alto. Notar o formato de leque aluvial (em vermelho). Na parte distal do leque, no trecho mais florestado, situa-se a linha de falha sul (linha tracejada preta) da Gráben Casa de Pedra, que corta transversalmente o leque.

A região central da bacia do Ribeirão dos Três Poços está situada no domínio da bacia sedimentar de Volta Redonda, e nota-se uma boa preservação do terraço alto e das rampas de alúvio-colúvio. As cabeceiras dos canais fluviais de direção NE-SW, afluentes da margem esquerda do canal principal, estão bastante alteradas pela Rodovia do Contorno, e obras de reforma da mesma. Desta forma, a feição de fundo de vale esvaziado (Figura 18), encontrada no canal fluvial a sudoeste, pode também ter sido influenciada pela atividade antrópica.



Figura 18 – Fundo de vale esvaziado próximo a Rodovia do Contorno. Atualmente se verifica a presença de brejos ao longo do vale.

No setor nordeste da bacia sedimentar de Volta Redonda (bloco A da figura 15), encontra-se uma sub-bacia que possui rampas de alúvio-colúvio e o terraço superior cortados pelo entalhamento remontante da drenagem, onde se verifica uma ação erosiva significativa por meio de um complexo de voçorocas (Figura 19).



Figura 19 – Complexo de voçorocas remobilizando sedimentos das rampas de alúvio-colúvio na baixa e média encosta, e dos depósitos paleogênicos da bacia de Volta Redonda, na alta encosta.

O baixo curso da bacia é caracterizado pela presença de feições de fundo de vale esvaziado que convergem para o canal principal. Este se apresenta encaixado fortemente na direção N-S, e atualmente recebe uma grande quantidade de sedimentos provenientes das áreas a montante, tratando-se de uma importante área de transporte e sedimentação (Figura 20).



Figura 20 – Áreas de sedimentação atual situadas no baixo curso, em canal fluvial encaixado e confinado. Neste setor existem vários pequenos níveis de base rochosos semelhantes ao da figura.

No extremo norte da bacia, em seu baixo curso, localiza-se uma área urbana que se estende até a foz do canal principal. A presença de casas e equipamentos urbanos impediu o reconhecimento *in situ* das feições deposicionais e erosivas desta área, e não se sabe se os sedimentos provenientes da bacia são trapeados neste setor, ou se atingem eficientemente o rio Paraíba do Sul.

Ao analisar o Modelo Digital de Elevação, através do mapa hipsométrico (Figura 21), destaca-se a presença feições anômalas de divisores de água situados em vales. Além disso, vales suspensos são encontrados no trecho norte da bacia. Esses últimos correspondem cabeceiras de drenagem desarticuladas do nível de base atual, que não sofreram reencaixamento da drenagem, ou que não foram contempladas na sedimentação quaternária (MOURA et al. 1991).



Figura 21 – Hipsometria confeccionada a partir do Modelo Digital de Elevação (IBGE, 2008) e anomalias de drenagem presentes na bacia do Ribeirão dos Três Poços. Curvas de nível com intervalos de 10 metros. Projeção UTM, datum WGS 1984, fuso 23S.

6.2 ANÁLISE DOS DEPÓSITOS HOLOCÊNICOS DA BACIA DOS TRÊS POÇOS

A estratigrafia dos depósitos quaternários da região do Médio Vale do rio Paraíba do Sul foi documentada no estudo de MOURA & MELLO (1991), fornecendo um panorama da evolução da paisagem quaternária e para a forma de reconhecimento dos depósitos e suas aloformações correspondentes através da morfoestratigrafia.

No intuito de reconhecer a sedimentação holocênica local, foram levantados perfis e seções estratigráficos em depósitos representativos da bacia do Ribeirão dos Três Poços. Deste levantamento – executado em rampas de alúvio-colúvio, terraços (Terraço Superior) e níveis de sedimentação inferiores – obtiveram-se as fácies sedimentares representativas dos depósitos holocênicos da bacia (Tabela 2), que podem ser subdivididas em três grupos principais: fácies pelíticas, fácies arenosas e fácies rudáceas.

As fácies pelíticas são representadas pelas fácies onde predominam argila e silte. A fácies L é interpretada como brejo de planície de inundação ou depósitos de canais abandonados. A fácies La é representativa de depósitos de planície de inundação, canais abandonados, depósitos de inundação de baixa intensidade ou depósitos coluviais. A fácies Ls é interpretada como camada de raiz ou solo incipiente.

As fácies arenosas são representadas pelas fácies essencialmente arenosas ($A \ e \ Af$), fácies areno-lamosa (Al) e fácies areno-cascalhosa (Ac). As fácies essencialmente arenosas (A $e \ Af$) e a fácies areno-cascalhosa (Ac) são interpretadas como formas de leito linguóides e transversas (dunas 2-D). A fácies areno-lamosa (Al) é interpretada como depósitos de planície inundação e de canais abandonados ou depósitos de inundação de baixa intensidade.

As fácies rudáceas são compostas pelos conglomerados matriz-suportados (*Cm*) interpretados como fluxo de detritos plástico (alta energia, viscoso); conglomerados clastosuportadas de estrutura maciça ou com acamamento horizontal e imbricação (*C*), interpretados como formas de leito longitudinais, depósitos residuais (*lag deposits*), depósitos de "peineramento" (*sieve deposits*); e conglomerados com estratificação cruzada tabular (*C*2) interpretados como formas de leito transversas e crescimento deltaico de antigas barras remanescentes.

	Correspondência			
	Código	Diagnose	Miall (1996)	Interpretação
Fácies Pelíticas	L	Argila e silte, maciço	Fsm	Brejo de planície de inundação (backswamp)
				ou depósitos de canais abandonados
	La	Argila e silte com areia	FI	Depósitos de planície de inundação
		ou arenoso, maciço		(overbank), canais abandonados ou depósitos
				de inundação de baixa intensidade (waning
		Argila macica	- Fr	(Jiood deposits) / coluvio
	LS	Alglia Illaciça		
		vegetais, raízes e		
		matéria orgânica		
	A	Areia média a grossa	Sp	Formas de leito linguóides e transversas
		maciça ou com		(dunas 2-D) (transverse and linguoid
		estratificação cruzada		bedforms)
		tabular		
S	Ac	Areia cascalhosa maciça	Sp	Formas de leito linguóides e transversas
ica		ou com eatratificação		(dunas 2-D) (transverse and linguoid
Fácies Arenít				beajorns
	Af	Areia fina a média	Sp	Formas de leito linguóides e transversas
				(dunas 2-D) (transverse and linguoid
				bedforms)
	AI	Areia com lama ou	FI	Depositos de planicie de inundação
		lalliusa		de inundação de baixa intensidade (<i>waning</i>
				flood deposits)
	С	Conglomerado fino a	Gh	Formas de leito longitudinais, depósitos
		grosso (grânulo a		residuais (<i>lag deposits</i>), depósitos de
		blocos), clasto-		"peineramento" (sieve deposits)
		suportados, maciço ou		
as		com acamamento		
ludáce		imbricação		
	C2	Conglomerado finos a	Gp	Formas de leito transversas, crescimento
es		grossos (grânulo a		deltaico de antigas barras remanescentes
Fácie		blocos), clasto-		_
		suportados com		
		estratuficação cruzada		
		tabular	-	
	Cm	Conglomerado matriz-	Gmm	Fluxo de detritos plástico (alta energia,
		suportado		viscoso) (plastic debris flow)

Tabela 2 – Fácies sedimentares referentes aos depósitos holocênicos analisados da bacia do Ribeirão dos Três Poços.

A seguir serão apresentados os perfis estratigráficos levantados. A apresentação se dará em dois blocos: levantamentos realizados nos depósitos holocênicos mais antigos, localizados no Terraço Superior e nas Rampas de Alúvio-Colúvio; e realizados nos níveis de sedimentação inferiores. A figura 22 mostra a localização dos perfis na bacia do Ribeirão dos Três Poços.





Figura 22 – Localização dos perfis e seções estratigráficos levantados na bacia do Ribeirão dos Três Poços. Projeção UTM, datum WGS 1984, fuso 23S. Os blocos de localização se referem aos retângulos (A, B e C) encontrados na Figura 8.

6.2.1 Levantamento estratigráfico do Terraço Superior e das Rampas de Alúvio-Colúvio

O levantamento estratigráfico das feições deposicionais holocênicas do Terraço Superior e das Rampas de Alúvio-Colúvio é representado pelos perfis estratigráficos 4, 9, 10, 11 e 12, e pelos grupo de perfis 1 – composto pelos perfis 6, 7 e 8 – e grupor de perfis 2 – composto pelos perfis 14 e 15. Em relação localização espacial dos perfis nas feições morfoestratigráficas (Figura 15), os perfis 4 e 12 e as grupos de perfis 1 e 2 se encontram no Terraço Superior; os perfis 9 e 10, na transição entre Terraço Superior e Rampa de Alúvio-Colúvio; e o perfil 11, na Rampa de Alúvio-Colúvio.

Perfil Estratigráfico 4 (Alto Curso)

O perfil 4 está localizado no sudeste da bacia (Figura 23), situado no terraço superior (Figuras 24 e 25), no alto curso da bacia, inserido no domínio de embasamento cristalino. A assembleia de fácies deste perfil é composta pelas fácies pelíticas L, La e Ls, fácies arenosas A e Ac e fácies rudácea C.

A primeira metade da base do perfil apresenta um considerável pacote de sedimentação pelítica, que pode significar um preenchimento de paleocanal abandonado ou um paleoambiente lacustre (pequeno lago represado devido a alguma barreira no canal). Na porção superior, após as fácies arenosas e fácies pelítica *L*, a sedimentação mais recente é carcterizada por depósitos coluviais (*La*).



Figura 23 – Mapa de localização do perfil estratigráfico 4 (localizado no sudeste da bacia, situado no terraço superior, no alto curso da bacia).

As fácies arenosas (A e Ac) na metade do perfil podem indicar um evento de cheia do curso fluvial, levando sedimentos mais grossos para este ambiente onde predominava o processo de decantação.



Figura 24 – Perfil estratigráfico 4 localizado no sudeste da bacia, situado no terraço superior, no alto curso da bacia, inserido no domínio do embasamento cristalino. À direita, a descrição das camadas sedimentares reconhecidas. As fácies sedimentares estão representadas em vermelho.



Figura 25 – Aspectos da sedimentação identificada no perfil estratigráfico 4, localizado no terraço superior (argilas cinzas e castanho-alaranjadas na base do perfil, e siltes castanhos na parte superior). Perfil traçado na vertical do martelo.

Grupo de perfis 1 (perfis estratigráficos 6, 7 e 8) (Alto Curso)

O grupo de perfis 1 está localizado no sudeste da bacia (Figura 26), situado no terraço alto, à poucos metros à jusante do perfil 4, e abrange os perfis 6, 7 e 8 (Figuras 27, 28, 29 e 30). A assembleia de fácies da seção engloba as fácies pelíticas L e La, fácies arenosas A, Al e Ac, e fácies rudáceas C.

Nota-se nitidamente o aumento de 1 metro na espessura da deposição em relação ao perfil 4. Os três perfis, em geral, apresentam significativas quantidades de lama e areias, e reduzidas quantidades de cascalho (mais abundante no perfil 6).

A base dos perfis, representada por uma argila maciça mosqueada (*La*), com intercalações de areia média lamosa (*Al*), representa um significativo depósito de planícies de inundação.



Figura 26 – Mapa de localização dos perfis estratigráficos 6, 7 e 8 (localizado no sudeste da bacia, situado no terraço superior).

A porção média da seção representa majoritariamente as formas de leito, com presença abundante de areia, e, de maneira mais restrita, cascalhos e areias cascalhosas. A mudança de localização das áreas cascalhosas, na sucessão vertical ao longo da seção, mostra a migração do canal ao longo de seu leito.

A porção superior mostra novamente um predomínio de deposição pelítica, e pode se tratar de uma mistura de sedimentação de planície de inundação com depósitos coluviais.





Figura 27 – Perfil Estratigráfico 6 localizado no sudeste da bacia, situado no terraço superior. À direita, a descrição das camadas sedimentares reconhecidas. As fácies sedimentares estão representadas em vermelho.



Figura 28 – Perfil Estratigráfico 7 localizado no sudeste da bacia, situado no terraço superior. À direita, a descrição das camadas sedimentares reconhecidas. As fácies sedimentares estão representadas em vermelho.





Figura 29 – Perfil Estratigráfico 8 localizado no sudeste da bacia, situado no terraço superior. À direita, a descrição das camadas sedimentares reconhecidas. As fácies sedimentares estão representadas em vermelho.



Figura 30 – Grupo de perfis 1 (composto pelos perfis 6, 7 e 8) localizado no sudeste da bacia, situado no terraço superior. As fácies sedimentares estão representadas em vermelho. Abaixo, fotomosaico com a localização dos perfis no afloramento.

Perfil Estratigráfico 11(Médio Curso)

O perfil 11 está localizado no oeste da bacia, numa cabeceira entulhada (cortada pela Rodovia do Contorno), no domínio do Gráben Casa de Pedra (Figura 31). A assembleia de fácies deste perfil é composta pelas fácies pelíticas L, La e Ls e fácies arenosas Al e Ac.

Este perfil apresenta uma sedimentação predominantemente pelítica, nos seus 4 metros de espessura (Figura 32 e 33), com exceção de algumas camadas arenosas (a de maior espessura retrabalha a camada sotoposta de argila).



Figura 31 – Mapa de localização do perfil estratigráfico 11 (localizado no oeste da bacia, numa cabeceira entulhada).



Figura 32 – Perfil Estratigráfico 11 localizado no oeste da bacia, numa cabeceira entulhada (cortada pela Rodovia do Contorno), no domínio do Gráben Casa de Pedra. À direita, a descrição das camadas sedimentares reconhecidas. As fácies sedimentares estão representadas em vermelho.

A associação de fácies sugere uma sedimentação de ambiente de baixa energia, como canais embrejados. A penúltima camada do perfil, caracterizada pela fácies *La*, possui aspectos táctil-visuais que se assemelham a um paleossolo (que também pode ser observado na figura 38).


Figura 33 – Perfil estratigráfico 11 localizado na transição entre rampa de alúvio-colúvio e terraço superior no oeste da bacia. Local demarcado em vermelho na foto acima. Perfil realizado na vertical do martelo.

Perfil Estratigráfico 9 (Baixo Curso)

O perfil 9 está localizado no nordeste da bacia (Figura 34), dentro de uma voçoroca (Figura 35 e 36), e foi realizado nos depósitos da transição entre a rampa de alúvio-colúvio e o terrraço alto. Infelizmente, em razão de queda de parte do barranco, não foi possível o levantamento da porção superior do perfil. A assembleia de fácies deste perfil engloba as fácies arenosas A e Ac e fácies rudáceas C e C2.



Figura 34 – Mapa de localização do perfil estratigráfico 9 (localizado no sudeste da bacia, situado no terraço superior).



Figura 35 – Perfil Estratigráfico 9 localizado no nordeste da bacia, levantado em depósitos da transição entre a rampa de alúvio-colúvio e o Terrraço Alto, e situado dentro de uma voçoroca. À direita, a descrição das camadas sedimentares reconhecidas. As fácies sedimentares estão representadas em vermelho.



Figura 36 – Afloramento de depósitos da transição entre a rampa de alúvio-colúvio e o Terrraço Alto, onde foi levantado perfil Estratigráfico 9, localizado no nordeste da bacia, e situado dentro de uma voçoroca.

Em todo o perfil se nota claramente a intercalação entre areias cascalhosas e cascalhos arenosos, o que demonstra uma homogeneidade muito grande. O perfil está situado bem próximo à cabeceira de drenagem e da área fonte de sedimentos, provenientes da bacia de Volta Redonda, além de estar numa zona não fluvial (a nascente do curso fluvial atual, por exemplo, se localiza a jusante deste ponto). Isto implica que provavelmente toda a sedimentação se deu de forma efêmera, dependente de chuvas intensas (isto também é observado atualmente no local). Desta forma, estes depósitos representam quase que somente a relação entre intensidade do escoamento superficial efêmero e distância da área fonte. Isto ao considerar que a área fonte forneceu tanto cascalhos quanto areias, que podem ser encontrados abundantemente nas Formações Pinheiral e Resende da Bacia de Volta Redonda. Logo, numa situação hipoteticamente idealizada, uma enxurrada de baixa intensidade remobilizaria os sedimentos da área fonte, e os depositaria relativamente próximos, considerando que os cascalhos se depositariam antes das areias, com a diminuição do fluxo. Já numa enxurrada de alta intensidade os sedimentos alcançariam zonas mais distantes. Os sedimentos depositados num determinado evento tempestivo também sofreria transporte novamente em outro evento chuvoso. Nesta intercalação de intensidades de erosão e transporte de sedimentos, a sedimentação teria o caráter que o perfil 9 apresenta.

Perfil Estratigráfico 10 (Baixo Curso)

O perfil estratigráfico 10 localiza-se no nordeste da bacia (Figura 37), e mostra praticamente o mesmo aspecto do perfil 9, porém neste o levantamento estratigráfico foi completo (Figuras 38 e 39). A assembleia de fácies deste perfil é composta pelas fácies pelítica *La*, fácies arenosas *Al* e *Ac*, e fácies rudáceas *C*.

O perfil apresenta o mesmo predomínio de areias e cascalhos, encontrado no perfil 9. Devido a sua localização espacial, situado dentro de uma voçoroca na rampa de alúviocolúvio, e, portanto, próximo à área fonte, a sedimentação se deu de forma episódica (mesmas características do perfil 9). A condição de fluxo de água não era perene, e sim efêmera. Além disso, devido à proximidade da área fonte, o perfil tem um caráter extremamente arenocascalhoso (com exceção da última camada superior).



Figura 37 – Mapa de localização do perfil estratigráfico 10 (localizado no nordeste da bacia, levantado em depósitos da rampa de alúvio-colúvio, próximo ao Terrraço Superior, e situado dentro de uma voçoroca).

Como a área fonte é a bacia de Volta Redonda, o retrabalhamento destes sedimentos fica evidente ao verificar a composição dos clastos. O perfil mostra a presença de muitos seixos e blocos de argila roxa e verde e litoclastos de arenito lamoso esverdeado, todos bem característicos da Formação Resende da bacia de Volta Redonda.



Figura 38 - Aspecto predominantemente arenoso do afloramento do perfil estratigráfico 10.



Figura 39 – Perfil Estratigráfico 10 localizado no nordeste da bacia, levantado em depósitos da rampa de alúviocolúvio, próximo ao Terrraço Superior, e situado dentro de uma voçoroca. À direita, a descrição das camadas sedimentares reconhecidas. As fácies sedimentares estão representadas em vermelho.

Perfil Estratigráfico 12 (Baixo Curso)

O perfil estratigráfico 12 se localiza no nordeste da bacia (Figura 40), à jusante do perfil 10, e se encontra no terraço superior (Figura 41 e 42). A assembleia de fácies detse perfil engloba as fácies pelíticas La, fácies arenosas A, Al e Ac, e fácies rudáceas C.

O fato de estar situado em um ambiente fluvial propriamente, e não em um ambiente de encosta (perfis 9 e 10), reflete nas características da sedimentação, apresentando padrão típico rio entrelaçado (de pequeno porte).

No perfil encontram-se, no mínimo, três "ciclos" de sucessão de fácies que se assemelham ao modelo entrelaçado (*braided*). O perfil apresenta poucos depósitos de lama, predominando uma sedimentação areno-cascalhosa. A porção superior do perfil (últimos 2 metros) apresenta uma sedimentação mais argilosa, que pode ser resultante de uma diminuição brusca da energia do curso fluvial, ou de migrações laterais do leito fluvial, proporcionando aparecimento de brejos e canais abandonados.



Figura 40 – Mapa de localização do perfil estratigráfico 12 (localizado no nordeste da bacia, situado no terraço superior).



Figura 41 – Perfil Estratigráfico 12 localizado no nordeste da bacia, situado no terraço superior. À direita, a descrição das camadas sedimentares reconhecidas. As fácies sedimentares estão representadas em vermelho. (e.m.: eixo maior).



Figura 42 – Afloramento do perfil Estratigráfico 12, localizado no nordeste da bacia e situado no terraço superior.

Grupo de perfis 2 (perfis estratigráficos 14 e 15) (Baixo Curso)

O grupo de perfis 2 está localizado no nordeste da bacia (Figura 43), situado à jusante do perfil 12, fazendo parte da mesma feição morfoestratigráfica do terraço Superior, e composta pelos perfis 14 e 15 (Figuras 44, 45 e 46). A assembleia de fácies destes perfis estratigráficos englobam as fácies pelíticas L e La, fácies arenosas A, Af, Ac e Al e fácies rudáceas C e Cm.

Os perfis apresentam uma abundância de cascalho e areia, e pouca deposição de pelitos, o que pode indicar um baixo fornecimento de lama da área fonte para o canal fluvial, ou fornecimento majoritário na forma de litoclastos de argila. Na base do afloramento, se dispõe camadas de conglomerados (fácies *C*), representa esta situação (Figura 47).

Na porção inferior dos perfis identificam-se muitos seixos e blocos de argila e litoclastos (fácies C), indicando eventos de alta energia. Talvez, esses cascalhos de argila contribuam, em parte, para a pouca quantidade de camadas argilosas, isto porque, a argila

erodida dos depósitos associados ao preenchimento da bacia de Volta Redonda, pode ter dificuldade de ser "pulverizada" pelo fluxo raso do ambiente fluvial, e efêmero do ambiente de encosta. Desta forma, a argila só se moveria em fluxos de alta energia, em eventos de chuva intensa e aumento vertiginoso do escoamento superficial. Desta forma, os perfis levantados apresentam uma baixíssima quantidade de lama.



Figura 43 – Mapa de localização dos perfis estratigráficos 14 e 15 (localizados no nordeste da bacia, situado no Terraço Superior).



Figura 44 – Perfil estratigráfico 14 localizado no nordeste da bacia, situado no Terraço Superior. À direita, a descrição das camadas sedimentares reconhecidas. As fácies sedimentares estão representadas em vermelho. (e.m.: eixo maior).



Figura 45 – Perfil estratigráfico 15 localizado no nordeste da bacia, situado no Terraço Superior. A base do perfil está a 1,30m acima do leito do rio. À direita, a descrição das camadas sedimentares reconhecidas. As fácies sedimentares estão representadas em vermelho. (e.m.: eixo maior).



PERFIL 15

PERFIL 14

Figura 46 – Grupo de perfis 2 (composto pelos perfis 14 e 15) localizado no nordeste da bacia, situado no Terraço Superior. As fácies sedimentares estão representadas em vermelho. (e.m.: eixo maior). Abaixo, fotomosaico com a localização dos perfis no afloramento.



Figura 47 – Aspectos dos litoclastos encontrados na fácies rudácea C. Camadas situadas na base do afloramento.

6.2.2 Levantamento estratigráfico dos níveis inferiores de sedimentação

Perfil Estratigráfico 5 (Alto Curso)

Este perfil localiza-se no sudeste da bacia (Figura 48), e situa-se em um nível de sedimentação espacialmente bem restrito, de pequena extensão (Figura 49). A assembleia de fácies deste perfil é composta pelas fácies pelíticas L e La, fácies arenosa Al e fácies rudácea C.

O perfil mostra intercalação de pequenos brejos/planícies de inundação (L, $La \in Al$), com depósitos de leito (C).



Figura 48 – Mapa de localização do perfil estratigráfico 5 (localizado no sudeste da bacia, e situado em um nível inferior de sedimentação).



Figura 49 - Perfil estratigráfico 5 localizado no sudeste da bacia, e situado em um nível inferior de sedimentação. À direita, a descrição das camadas sedimentares reconhecidas. As fácies sedimentares estão representadas em vermelho.

Perfil Estratigráfico 1 (Médio Curso)

Este perfil estratigráfico localiza-se no sudeste da bacia (Figura 50), próximo à falha sul do Gráben Casa de Pedra, e situa-se em um restrito nível de sedimentação inferior (Figura 51). A assembleia de fácies deste perfil engloba as fácies pelítica La e Ls, fácies arenosas A e Al, e fácies rudáceas C.

A fácies Ara na base do perfil indicam uma planície de inundação que armazenou muito material orgânico, apresentando uma coloração bem escura (entre 1m e 1,5m). Na porção superior do perfil, identificam-se cascalhos e areias lamosas. Este perfil indica uma sedimentação fluvial de baixa energia – talvez canais embrejados – onde a sedimentação pelítica e areno-pelítica era predominante.



Figura 50 – Mapa de localização do perfil estratigráfico 1 (localizado no sudeste da bacia, próximo à falha sul do Gráben Casa de Pedra, e situado em um nível de sedimentação inferior).



Figura 51 – Perfil Estratigráfico 1 localizado no sudeste da bacia, próximo à falha sul do Gráben Casa de Pedra, e situado em um nível de sedimentação inferior. À direita, a descrição das camadas sedimentares reconhecidas. As fácies sedimentares estão representadas em vermelho. (e.m.: eixo maior).

Perfil Estratigráfico 2 (Baixo Curso)

O perfil está localizado no nordeste da bacia (Figura 52), em um pequeno terraço de várzea, na margem direita do rio nos níveis inferiores de sedimentação (Figuras 53 e 54). A assembleia de fácies deste perfil é composta pelas fácies pelíticas *La*, e fácies arenosas *A*, *Al* e *Ac*.

O perfil possui características típicas de depósitos de planície de inundação, com predomínio de sedimentação pelítica. As fácies arenosas (*Ac e Al*) situadas entre as camadas



das fácies pelíticas (*La*), sugerem uma planície de inundação com pequeno depósito de arrombamento de dique (*creavasse splay*).

Figura 52 – Mapa de localização do perfil estratigráfico 2 (localizado no nordeste da bacia, em um pequeno terraço de várzea, na margem direita do rio nos níveis inferiores de sedimentação).



Figura 53 – Perfil Estratigráfico 2 localizado no nordeste da bacia, em um pequeno terraço de várzea, na margem direita do rio nos níveis inferiores de sedimentação. À direita, a descrição das camadas sedimentares reconhecidas. As fácies sedimentares estão representadas em vermelho. (e.m.: eixo maior).



Figura 54 – Afloramento do terraço de várzea onde foi levantado o perfil estratigráfico 2.

Perfil Estratigráfico 3 (Baixo Curso)

O perfil está localizado no nordeste da bacia (Figura 55), poucos metros à montante do perfil 2, e situado junto a uma barra em pontal ativa (Figuras 56 e 57). A assembléia de fácies deste perfil engloba as fácies arenosas A e Ac, e fácies rudácea C.

A disposição das fácies, com predominância de cascalhos na base e areias na porção superior indica uma sedimentação fluvial de barras em pontal, conforme também verifica-se atualmente no canal fluvial atual.



Figura 55 – Mapa de localização do perfil estratigráfico 3 (localizado no nordeste da bacia, e situado junto a uma barra em pontal ativa).



Figura 56 – Perfil Estratigráfico 3 localizado no nordeste da bacia, e situado junto a uma barra em pontal ativa. À direita, a descrição das camadas sedimentares reconhecidas. As fácies sedimentares estão representadas em vermelho. (e.m.: eixo maior).

A união do perfil 3 ao perfil 2, localizado em margem contrária e bem próximo, apresenta as características de sedimentação de canais fluviais meandrantes, onde o perfil 3 representaria a sedimentação da barra em pontal do lado convexo do meandro, e o perfil 2 representaria a planície de inundação situada do lado oposto.



Figura 57 – Barra em pontal no meandro formado pelo rio. O perfil estratigráfico 3 foi levantado na linha vertical vermelha.

Perfil Estratigráfico 13 (Baixo Curso)

O perfil 13 está localizado no nordeste da bacia (Figura 58), em um nível de sedimentação inferior (Figura 59 e 60), situado dentro de uma voçoroca que corta uma rampa de alúvio-colúvio, e tem como característica principal a grande quantidade de areias e cascalhos pequenos, ambos com má seleção de grãos. A assembleia de fácies deste perfil engloba as fácies arenosas A, Ac e Al e fácies rudácea C.

O perfil possui similaridade aos perfis 9 e 10, e por testar situado no domínio de encosta sem presença de fluxos de água perenes, a sedimentação foi episódica. O perfil mostra uma intensa deposição areno-cascalhosa, com quantidade de lama bem restrita.

A composição das camadas do perfil mostra que houve um retrabalhamento dos depósitos da rampa de alúvio-colúvio, e aponta características tanto dos depósitos terciários da bacia de Volta Redonda, quanto do embasamento cristalino.



Figura 58 – Mapa de localização do perfil estratigráfico 13 (localizado no nordeste da bacia em um nível de sedimentação inferior embutido dentro de uma voçoroca que corta uma rampa de alúvio-colúvio).



Figura 59 – Perfil estratigráfico 13 localizado no nordeste da bacia em um nível de sedimentação inferior embutido dentro de uma voçoroca que corta uma rampa de alúvio-colúvio. À direita, a descrição das camadas sedimentares reconhecidas. As fácies sedimentares estão representadas em vermelho.



Figura 60 – Afloramento do perfil estratigráfico 13, localizado no nordeste da bacia em um nível de sedimentação inferior embutido dentro de uma voçoroca que corta uma rampa de alúvio-colúvio.

Perfil Estratigráfico 16 (Baixo Curso)

O perfil se localiza no nordeste da bacia (Figura 61), na entrada de uma voçoroca (a mesma do perfil 10), e está situado em um nível de sedimentação inferior (Figura 62 e 63). A assembleia de fácies deste perfil é composta pelas fácies pelítiva *La*, fácies arenosas *Ac*, e fácies rudácea *C*2.

Esses depósitos mostram um retrabalhamento dos sedimentos da rampa de alúviocolúvio e dos depósitos paleogênicos da bacia de Volta Redonda. O perfil mostra um predomínio de sedimentos areno-cascalhosas, como poucas camadas de lama, situadas apenas na base e topo do perfil. A sedimentação ocorreu provavelmente por episódios de torrentes de água.



Figura 61 – Mapa de localização do perfil estratigráfico 16 (localizado no nordeste da bacia, situado em nível inferior de sedimentação, na entrada de uma voçoroca).



Figura 62 – Perfil estratigráfico 16 localizado no nordeste da bacia, situado em nível inferior de sedimentação, na entrada de uma voçoroca. À direita, a descrição das camadas sedimentares reconhecidas. As fácies sedimentares estão representadas em vermelho.



Figura 63 – Afloramento do nível inferior de sedimentação embutido na entrada de uma voçoroca no nordeste da bacia.

6.3 BALANÇO SEDIMENTAR DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DOS TRÊS POÇOS

O balanço sedimentar foi elaborado conjugando-se o mapeamento das feições deposicionais e erosivas ao levantamento da altura (espessura dos depósitos e profundidade da erosão) das mesmas. Estas feições já foram abordadas anteriormente, no mapa de feições deposicionais e erosivas (Figura 15). Já os valores de espessura reais podem ser encontrados nos perfis e seções estratigráficas abordados no item anterior, porém para o cálculo dos volumes, as espessuras foram aproximadas para números inteiros. Desta forma, por exemplo, os valores de altura nos perfis 6, 7 e 8 (grupo de perfis 1), que variam de 4,6 a 4,8 metros, foram arredondados para 5 metros. Todos os outros valores de altura, os quais não possuem informações levantadas em campo, foram estimados ou extrapolados de sítios similares e/ou circunvizinhos. Este foi um erro necessário assumido por este estudo para a própria aplicabilidade do cálculo em um modelo, no entanto, acredita-se que a volume real exato só poderá ser adquirido através de muitos e intensos levantamentos de campo, baseados em perfis estratigráficos, sondagens e perfis geofísicos. Porém, a utilização de dois modelos para a estimativa de volume se manteve fiel à ordem de grandeza dos depósitos encontrados, como será demonstrado mais adiante.

Os valores de volume foram baseados em dois grupos principais, sendo o primeiro relacionado às feições deposicionais, que correspondem a todos os níveis de sedimentação identificados e estimados, e o segundo ligado às feições erosivas atuantes sobre estas feições deposicionais. A tabela 3 apresenta a síntese dos volumes estocados e removidos da bacia.

Feições deposicionais e		Entulhamento	Entulhamento	Deposição Níveis Inferiores (m ³)	Deposição Níveis Inferiores (m ³)	Sedimentação atual (m ³)	Sedimentação atual (m ³)
erosivas	Área (m²)	(m ³) (modelo 1)*	(m ³) (modelo 2)*	(modelo 1)*	(modelo 2)*	(modelo 1)*	(modelo 2)*
Feições							
deposicionais	2.409.226,75	14.469.690,57	10.686.486,30	917.004,96	720.078,31		
Feições erosivas**	701.337,09	3.837.061,96	2.821.831,28	215.024,03	168.847,71	701.337,09	515.529,27
TOTAL							
ACUMULADO	3.110.563,85	18.306.752,54***	13.508.317,58***	1.132.028,99	888.926,02	701.337,09	515.529,27
Erosão do							
entulhamento							
(Níveis Inferiores)		-2.856.877,59	-2.243.361,65				
Erosão do							
entulhamento							
(feições erosivas)		-3.837.061,96	-2.821.831,28	-215.024,03	-168.847,71		
TOTAL REMOVIDO		-6.693.939,56	-5.065.192,93				
REMOÇÃO DO							
TOTAL							
ACUMULADO (%)		-37	-37	-19	-19		

Tabela 3 – Volumes estocados e removidos durante o Holoceno, na bacia do Ribeirão dos Três Poços.

* O método 1 consiste na estimativa de volume por espessuras (*h*) constantes, e o método 2 consiste na estimativa de volume por semi-cilindro, no caso do terraço superior e níveis inferiores de sedimentação, e por elipsoide, no caso das rampas de alúvio-colúvio.

**Os volumes desta linha de feições erosivas se referem aos locais onde atualmente se constatam áreas esvaziadas.

*** Volumes correspondentes ao entulhamento generalizado da paisagem, ocorrido durante o evento Manso.

Ambos o modelos de estimativa de volume apontam um estoque inicial significativo para o entulhamento generalizado da paisagem, ocorrido durante o evento Manso. O modelo 1, onde a espessura *h* foi considerada constante, aponta uma deposição maior, com 18.306.752,54 m³ estimados. Já o modelo 2, que considera semi-cilindros e elipsoides nos procedimentos de cálculo, aponta um volume estimado de 13.508.317,58 m³, quase 30% menor que o modelo 1.

A retomada erosiva e reencaixamento da drenagem propiciou a remoção de 37% desta estocagem inicial, sendo que ambos os modelos apresentaram este mesmo valor porcentual. Em números absolutos, foram removidos quase 7 milhões de metros cúbicos, segundo o modelo 1, e aproximadamente 5 milhões de metros cúbicos, segundo o modelo 2.

Do total removido da paisagem inicial de entulhamento, alguns volumes sedimentares foram acumulados nos níveis inferiores de sedimentação. Comparativamente, esta nova deposição foi muito pouco significativa em relação ao volume entulhado no evento Manso, porém, em números absolutos, essa nova sedimentação ultrapassou 1 milhão de metros cúbicos, pelo modelo 1, e ficou em torno de 700 mil metros cúbicos, pelo modelo 2.

A erosão incidente nos níveis inferiores de sedimentação também foi inferior à remobilização das feições entulhadas (terraço superior e rampas de alúvio-colúvio), em números absolutos e relativo. Os métodos 1 e 2 apontaram uma remoção de 19% e 26% dos níveis inferiores de sedimentação, respectivamente.

A sedimentação atual, aqui considerada o volume sedimentar existente dentro da cunha sedimentar, estimava valores na ordem de 700 mil e 500 mil metros cúbicos para os modelos 1 e 2, respectivamente.

Para a compreensão do balanço sedimentar em diferentes compartimentos geomofológicos, as análises também foram individualizadas para o alto, médio e baixo cursos da bacia. Os alto e baixo cursos correspondem majoritariamente a áreas do embasamento cristalino, enquanto o médio curso abrange principalmente o gráben Casa de Pedra, onde o substrato é representado pelos depósitos paleogênicos. A seguir, serão apresentadas as tabelas referentes a cada uma dessas grandes áreas.

O volume estocado no alto curso durante o entulhamento generalizado da paisagem corresponde a 19% do total acumulado pela bacia (Tabela 4). Deste volume sedimentar inicialmente estocado, aproximadamente 40% foram remobilizados durante a primeira fase erosiva, o que resultou no aparecimento de uma paisagem de vales bastante esvaziados.

Em relação à deposição de sedimentos em níveis inferiores, o alto curso representa 16% e 21% desta sedimentação na bacia, segundo os modelos 1 e 2, respectivamente. Deste montante, aproximadamente 10% foram remobilizados no entalhamento desses níveis inferiores de sedimentação.

O médio curso, onde encontram-se o gráben Casa de Pedra e os depósitos paleogênicos da bacia sedimentar de Volta Redonda, é responsável pela maioria da deposição ocorrida no evento Manso, correspondendo a mais de 50% do total depositado na bacia hidrográfica (Tabela 5). De maneira diferente ao constatado nos alto e baixo curso, verifica-se uma baixa remobilização destes depósitos durante a primeira fase erosiva, correspondendo a pouco mais de 20% dos depósitos entulhados no compartimento.

A deposição de sedimentos nos níveis inferiores do médio curso também correspondem a mais de 50% do total depositado na bacia. A remobilização de sedimentos destes níveis, provocados pelo entalhamento da drenagem, acompanham o porcentual de remobilização da primeira fase erosiva, girando em torno de 20% do volume sedimentar.

O baixo curso é responsável por 26% do entulhamento verificado na bacia (Tabela 6). Deste montante, cerca de 60% foi remobilizado na primeira fase erosiva, o que significa que houve uma grande evasão de sedimentos no baixo curso.

Em relação aos depósitos situados nos níveis inferiores de sedimentação, identificouse que estes correspondem a 35% e 48% do total destas feições na bacia, segundo os modelos 1 e 2, respectivamente.

ALTO CURSO Feições deposicionais e erosivas	Área (m2)	Entulhamento (modelo 1)*	Entulhamento (modelo 2)*	Deposição Níveis Inferiores (modelo 1)*	Deposição Níveis Inferiores (modelo 2)*	Sedimentação atual (modelo 1)*	Sedimentação atual (modelo 2)*
Feições deposicionais	457.706,18	2.438.610,98	1.782.237,00	155.663,40	122.234,62		
Feições erosivas**	229.925,70	1.046.073,34	767.828,95	19.915,84	15.638,90	229.925,70	168.626,50
TOTAL	687.631,88	3.484.684,31***	2.550.065,95***	175.579,24	137.873,53	229.925,70	168.626,50
PORCENTAGEM DA							
BACIA (%)	22	19	19	16	21	33	33
Erosão do entulhamento (Níveis							
Inferiores)		-408.231,61	-320.563,97				
Erosão do entulhamento (feições erosivas)		-1.046.073,34	-767.828,95	-19.915,84	-15.638,90		
TOTAL REMOVIDO		-1.454.304,94	-1.088.392,92				
REMOÇÃO DO TOTAL ACUMULADO (%)		-42	-43	-11	-11		

Tabela 4 – Volumes estocados e removidos durante o Holoceno, no Alto Curso da bacia do Ribeirão dos Três Poços.

*O método 1 consiste na estimativa de volume por espessuras (*h*) constantes, e o método 2 consiste na estimativa de volume por semi-cilindro, no caso do terraço superior e níveis inferiores de sedimentação, e por elipsoide, no caso das rampas de alúvio-colúvio.

Os volumes desta linha de feições erosivas se referem aos locais onde atualmente se constatam áreas esvaziadas. *Volumes correspondentes ao entulhamento generalizado da paisagem, para o alto curso da bacia, ocorrido durante o evento Manso.

MÉDIO CURSO Feições deposicionais				Deposição Níveis	Deposição Níveis		
e erosivas	Área (m2)	Entulhamento (modelo 1)*	Entulhamento (modelo 2)*	Inferiores (modelo 1)*	Inferiores (modelo 2)*	Sedimentação atual (modelo 1)*	Sedimentação atual (modelo 2)*
Feições deposicionais	1.517.932,84	8.985.792,43	6.650.326,65	429.293,97	337.103,18		
Feições erosivas**	202.818,70	1.036.935,19	776.309,57	127.480,65	100.104,27	202.818,70	151.355,83
TOTAL	1.720.751,54	10.022.727,62***	7.426.636,22***	556.774,62	437.207,44	202.818,70	151.355,83
PORCENTAGEM DA							
BACIA (%)	55	55	55	49	66	29	29
Erosão do							
entulhamento (Níveis							
Inferiores)		-1.273.337,36	-999.887,05				
Erosão do							
entulhamento (feições							
erosivas)		-1.036.935,19	-776.309,57	-127.480,65	-100.104,27		
TOTAL REMOVIDO		-2.310.272,54	-1.776.196,62				
REMOÇÃO DO TOTAL							
ACUMULADO (%)		-23	-24	-23	-23		

Tabela 5 - Volumes estocados e removidos durante o Holoceno, no Médio Curso da bacia do Ribeirão dos Três Poços.

*O método 1 consiste na estimativa de volume por espessuras (h) constantes, e o método 2 consiste na estimativa de volume por semi-cilindro, no caso do terraço superior e níveis inferiores de sedimentação, e por elipsoide, no caso das rampas de alúvio-colúvio.

**Os volumes desta linha de feições erosivas se referem aos locais onde atualmente se constatam áreas esvaziadas.

*** Volumes correspondentes ao entulhamento generalizado da paisagem, para o médio curso da bacia, ocorrido durante o evento Manso.

BAIXO CURSO Feições deposicionais				Deposição Níveis	Deposição Níveis		
e erosivas		Entulhamento	Entulhamento	Inferiores	Inferiores	Sedimentação	Sedimentação
	Área (m2)	(modelo 1)*	(modelo 2)*	(modelo 1)*	(modelo 2)*	atual (modelo 1)*	atual (modelo 2)*
Feições deposicionais	433.587,73	3.045.287,17	2.253.922,64	332.047,59	260.740,51		
Feições erosivas**	268.592,70	1.754.053,44	1.277.692,77	67.627,55	53.104,55	268.592,70	195.546,94
TOTAL	702.180,43	4.799.340,61***	3.531.615,41***	399.675,14	313.845,05	268.592,70	195.546,94
PORCENTAGEM DA							
BACIA (%)	23	26	26	35	48	38	38
Erosão do							
entulhamento (Níveis							
Inferiores)		-1.175.308,63	-922.910,63				
Erosão do							
entulhamento (feições							
erosivas)		-1.754.053,44	-1.277.692,77	-67.627,55	-53.104,55		
TOTAL REMOVIDO		-2.929.362,07	-2.200.603,39				
REMOÇÃO DO TOTAL							
ACUMULADO (%)		-61	-62	-17	-17		

Tabela 6 - Volumes estocados e removidos durante o Holoceno, no Baixo Curso da bacia do Ribeirão dos Três Poços.

*O método 1 consiste na estimativa de volume por espessuras (*h*) constantes, e o método 2 consiste na estimativa de volume por semi-cilindro, no caso do terraço superior e níveis inferiores de sedimentação, e por elipsoide, no caso das rampas de alúvio-colúvio.

**Os volumes desta linha de feições erosivas se referem aos locais onde atualmente se constatam áreas esvaziadas.

***Volumes correspondentes ao entulhamento generalizado da paisagem, para o baixo curso da bacia, ocorrido durante o evento Manso.
A tabela 7 mostra uma síntese do balanço sedimentar para bacia e seus compartimentos, construído com base nos resultados expostos no presente capítulo. A coluna "etapa" foi definida com base na ordem das fases identificadas na dinâmica sedimentar (cronologia). As idades são baseadas nos dados expostos em Mello et al. (1995), sendo os termos "mínimo" e "máximo" usados para indicar as idades mínima ou máxima para ocorrência da etapa de evolução da paisagem descrita. A coluna "status" indica a situação de predomínio de entrada (balanço positivo) ou saída (balanço negativo) de sedimentos, que possuem cor verde e vermelha, respectivamente. Os "estoques parciais", encontrados na coluna "status", não significam condições de estabilidade ou mesmo manutenção da estocagem, mas sim dados sobre as condições momentâneas do estoque sedimentar, importantes para a compreensão do encadeamento do balanço sedimentar, não retratando necessariamente a manutenção destes volumes por períodos específicos de tempo (o que pode ter ocorrido ou não). Desta forma, nem mesmo o "estoque final" pressupõe qualquer tipo de estabilidade, tratando-se apenas do retrato atual – momentâneo – do balanço sedimentar.

Etapa	Idade (com base em Mello et al., 1995)	Fase	Bacia Volume (m ³) (modelo 1)	Bacia Volume (m ³) (modelo 2)	Alto Curso Volume (m ³) (modelo 1)	Alto Curso Volume (m ³) (modelo 2)	Médio Curso Volume (m ³) (modelo 1)	Médio Curso Volume (m ³) (modelo 2)	Baixo Curso Volume (m ³) (modelo 1)	Baixo Curso Volume (m ³) (modelo 2)	Status
1	Máxima: 9.545 +/- 75 anos A.P.	Sedimentação associada ao entulhamento dos fundos de vale e paleocanais erosivos (Aloformação Manso).	18.306.752,54	13.508.317,58	3.484.684,31	2.550.065,95	10.022.727,62	7.426.636,22	4.799.340,61	3.531.615,41	Estoque holocênic o inicial
2	Mínima: 1.060 +/- 70 anos A.P.	Entalhamento e esvaziamento parcial dos preenchimentos de fundos de vale	-6.693.939,56	-5.065.192,93	-1.454.304,94	-1.088.392,92	-2.310.272,54	-1.776.196,62	-2.929.362,07	-2.200.603,39	Negativo
			11.612.812,98	8.443.124,65	2.030.379,37	1.461.673,03	7.712.455,07	5.650.439,60	1.869.978,54	1.331.012,01	Estoque parcial 1
3	Máxima: 240 anos A.P. +/ 50 anos	Deposição dos Níveis Inferiores de Sedimentação no baixo curso da bacia	1.132.028,99	888.926,02	175.579,24	137.873,53	556.774,62	437.207,44	399.675,14	313.845,05	Positivo
			12.744.841,97	9.332.050,67	2.205.958,61	1.599.546,56	8.269.229,69	6.087.647,05	2.269.653,68	1.644.857,07	Estoque parcial 2
4	Máxima: 240 anos A.P.	Entalhamento dos Níveis Inferiores de Sedimentação	-215.024,03	-168.847,71	-19.915,84	-15.638,90	-127.480,65	-100.104,27	-67.627,55	-53.104,55	Negativo
5	Máxima: 240 anos A.P.	Sedimentação Atual	701.337,09	515.529,27	229.925,70	168.626,50	202.818,70	151.355,83	268.592,70	195.546,94	Positivo
			13.231.155,03	9.678.732,23	2.415.968,47	1.752.534,15	8.344.567,73	6.138.898,61	2.470.618,83	1.787.299,46	Estoque final

Tabela 7 – Síntese do balanço sedimentar da bacia do Ribeirão dos Três Poços. Limites cronológicos de idade oriundos de MELLO et al. (1995).

O início da sedimentação da Aloformação Manso ocorreu aproximadamente na transição Pleistoceno-Holoceno, porém não se sabe ao certo a idade do fechamento desta sedimentação, nem tampouco a idade do encaixamento que originou as formas de terraço (T1). O início da sedimentação do nível de terraço T2, representado pela Aloformação Resgate, data de 1.060 ± 70 anos A.P. Como a idade final da sedimentação do evento Manso é desconhecida, não se sabe o período de tempo envolvido no entulhamento da paisagem, tampouco o tempo no qual os fundos de vale permaneceram sem o encaixamento verificado atualmente.

Segundo as estimativas de volume elaboradas nesta pesquisa, ao final do evento Manso, quando se deu o entulhamento generalizado de vales e cabeceiras, foram estocados 18.306.752,54 m³ (13.508.317,58 m³ pelo modelo 2). A ausência de datações na porção superior da Aloformação Manso impede que seja conhecido o ritmo de sedimentação de tais depósitos, isto é, a erosão e sedimentação neste período podem ter ocorrido aceleradamente, tal como acontece atualmente em voçorocas ativas, ou podem ter experimentado fases com taxas diferenciadas de acúmulo sedimentar.

A idade do entalhamento destes depósitos e do esvaziamento ao longo dos eixos principais de drenagem também é desconhecida, e tem como limite temporal a idade de deposição inicial do T2 – nível intermediário de sedimentação fluvial, conforme aponta MELLO et al. (1995). O entalhamento do terraço superior já deveria ter ocorrido, ao menos no local onde se efetuou a datação do T2. Na bacia do Ribeirão dos Três Poços não foi reconhecido este nível de terraço, apenas o nível mais elevado (T1 – associado ao evento Manso) e níveis inferiores de sedimentação fluvial, considerados mais recentes pela coluna estratigráfica exposta em MELLO et al. (1995). Desta forma, as informações provenientes acerca da datação do T2 auxiliam o posicionamento das fases de erosão/sedimentação apenas como anteriores ou posteriores à sua deposição.

Após a primeira fase de esvaziamento/entalhamento de vales, houve uma remobilização de 6.693.939,56 m³ (5.065.192,93 m³ pelo modelo 2), e o estoque parcial atingiu momentaneamente 11.612.812,98 m³ (8.443.124,65 pelo modelo 2), que corresponde a 63% do volume original. Ressalta-se que este dado não considera a provável deposição temporária dos sedimentos remobilizados, logo após sua erosão, ao longo dos fundos de vale.

Do montante de 6.693.939,56 m³ (5.065.192,93 m³ pelo modelo 2) remobilizados, 1.132.028,99 m³ (888.926,02 m³ pelo modelo 2) foram depositados em níveis de inferiores de

sedimentação. Isto significa que apenas 17% do total remobilizado foi depositado na bacia, indicando uma alta eficiência na evasão de sedimentos (*sediment delivery*) para o coletor.

Um novo episódio erosivo, que gerou novamente um encaixamento da drenagem, propiciou o entalhamento dos níveis inferiores de sedimentação. Na ocasião, foram remobilizados 215.024,03 m³ (168.847,71 m³ pelo modelo 2), que correspondem a 19% do total depositado nos níveis inferiores.

A sedimentação atual, entendida neste trabalho como a cunha sedimentar existente nas áreas esvaziadas (fundos de vale esvaziados, entalhamento e voçorocas), foi estimada em 701.337,09 m³ (515.529,27 m³ pelo modelo 2). Estes depósitos considerados como sedimentação atual não são necessariamente os mais recentes, podendo, em certas localidades, serem contemporâneos aos níveis inferiores de sedimentação. Como o volume estimado ultrapassa os valores volumétricos da remobilização que incidiu sobre os níveis inferiores de sedimentação, conclui-se que as rampas e/ou o terraço superior também contribuíram como fonte de sedimentos. Os sedimentos oriundos do embasamento cristalino e dos depósitos paleogênicos não foram computados neste estudo.

Por fim, chega-se ao volume sedimentar de 13.231.155,03 m³ (9.678.732,23 m³ pelo modelo 2) ainda estocados dentro da bacia. Isto significa que aproximadamente 70% dos sedimentos ainda permanecem na bacia em algum nível de sedimentação.

A tabela 7, em conjunto com as tabelas 4, 5 e 6, permite analisar o balanço sedimentar individualizado em seus três compartimentos: alto, médio e baixo curso. O alto e o baixo curso tiveram a maior quantidade de sedimentos remobilizados na primeira fase erosiva. Enquanto o médio curso teve aproximadamente 20% de volume sedimentar removido, o alto e o baixo curso tiveram 40% e 60% de remoção, respectivamente.

Destes volumes sedimentares remobilizados, poucas quantidades foram depositadas nos níveis inferiores de sedimentação. No alto curso apenas 12% dos sedimentos foram depositados, no baixo curso foram em torno de 14%, e no médio curso a retenção de sedimentos ficou em 24%. Assim como na análise para a bacia inteira, estes valores indicam uma alta eficiência na evasão de sedimentos (*sediment delivery*).

A remobilização de sedimentos contabilizada na tabela 7, entre o estoque holocênico inicial (entulhamento) e o estoque final (sedimentos estocados na bacia), permitiram inferir taxas de erosão para a bacia, conforme a tabela 8 e a figura 64. Como a idade da sedimentação máxima do evento Manso é desconhecida, as taxas foram elaboradas segundo suposições de deposição rápida, média e lenta para o entulhamento da paisagem.

	Bacia		Alto	Curso	Médio		Baixo Curso	
	Modelo	Modelo						
Período	1	2	1	2	1	2	1	2
9545 anos	532	401	112	84	176	135	244	183
5000 anos	1015	766	214	160	336	258	466	349
1060 anos	4788	3613	1008	752	1583	1215	2197	1646

Tabela 8 – Taxa de erosão anual (m³/ano) da bacia e seus compartimentos



Figura 64 - Taxa de erosão anual (m^3/ano) da bacia e seus compartimentos. O eixo das ordenadas representa a taxa de erosão anual, enquanto o eixo das abscissas identifica os compartimentos e os modelos de cálculo.

A tabela 8 e a figura 64 consideram como volume sedimentar erodido a quantia que, após os diversos episódios erodidos, foi efetivamente transportada para fora da bacia (evasão de sedimentos). Ou seja, a taxa de erosão anual leva em conta os sedimentos que conseguiram chegar ao coletor principal (rio Paraíba do Sul).

Na hipótese de um entulhamento rápido da paisagem, durante o evento Manso, o início do período erosivo se iniciaria próximo à idade estabelecida para os depósitos de base do terraço superior (9.545 +/- 75 anos A.P.), e, portanto, foi considerado o período de 9545 anos para o cálculo da taxa de erosão anual. O período de 5000 anos corresponde a uma hipótese de entulhamento em uma velocidade de deposição intermediária.

O período de 1060 anos corresponde a hipótese de um entulhamento mais lento, que teria alcançado a sedimentação máxima próxima ao momento da retomada erosiva, quando houve o reencaixamento da drenagem. Desta forma, neste estudo, a idade do episódio erosivo

foi considerada como igual à idade da base do terraço baixo, estimada 1.060 +/- 70 anos A.P. segundo MELLO et al (1995).

Numa comparação entre os compartimentos, nota-se que o baixo curso possui as maiores taxas de erosão anual em todos os períodos e modelos utilizados.

A taxa de erosão anual pode ser comparada com a taxa máxima de sedimentação anual do evento Manso, que corresponde ao volume sedimentar total do entulhamento sobre o período máximo esperado para sua deposição, segundo os dados cronológicos de MELLO *et al*, (1995). Deste modo, teríamos o volume de 18.306.752,54 m³ (13.508.317,58 m³ pelo modelo 2) dividido pelo período de 8485 anos (subtraindo 1060 anos de 9545 anos), que corresponderia a 2157 m³/ano (1592 pelo modelo 2). Esta taxa de sedimentação anual é expressiva, se considerarmos que trata-se da menor taxa estimada. Se utilizarmos um período de deposição do evento Manso de 1060 anos, apenas para fins de comparação com as taxas de erosão anual da tabela 8 e da figura 64, a taxa de sedimentação anual saltaria para 17.270 m³/ano (12.743 m³/ano pelo modelo 2). Estas elevadas taxas de sedimentação anual permitem compreender a magnitude do evento erosivo que originou os sedimentos que se depositaram durante o evento Manso.

Numa tentativa grosseira de estimar o volume sedimentar do evento erosivo que originou o entulhamento da paisagem, utilizando a porcentagem do volume sedimentar depositado nos níveis inferiores de sedimentação em relação ao removido na primeira fase erosiva incidente nos depósitos entulhados, que é aproximadamente 17%, chega-se a um volume estimado aproximado de 107.000.000 m³ (aproximadamente 80.000.000 m³ pelo modelo 2). Neste caso, considerando o mesmo período teórico de 1060 anos, a taxa de erosão anual durante o evento Manso poderia ter atingido 100.000 m³ (75.000 m³ pelo modelo 2). Apesar destes valores serem especulativos, sabe-se que alguma quantia do volume sedimentar não foi entulhada, mas sim evadida para o coletor principal.

Uma síntese da evolução holocênica da bacia do Ribeirão dos Três Poços foi elaborada na Figura 65, que mostra esquematicamente o desencadeamento dos episódios de deposição e erosão.

A encosta situada do lado oeste indica a deposição na rampa de alúvio-colúvio segundo o modelo 1 (espessura constante) no polígono verde, e segundo o modelo 2 (diminuição de espessura gradual do terraço em direção ao interflúvio) na linha tracejada. Já a encosta leste apresenta o modelo 1 no polígono verde, e uma situação não contemplada neste

estudo, onde a espessura de deposição aumentaria em direção ao interflúvio, em razão do substrato mais plano próximo ao terraço.



Figura 65 – Encadeamento de eventos de erosão e estocagem de sedimentos ocorridos após o entulhamento da paisagem (Evento Manso). A espessura "h" mostra o método de cálculo de volume onde a espessura foi considerada constante. O embasamento cristalino está em rosa; as rampas de alúvio-colúvio em verde; o terraço fluvial superior em amareloe; os níveis inferiores de sedimentação em laranja. A linha vermelha nos depósitos apresenta o modelo de volume pelo elipsoide, enquanto o espaço não preenchido do lado leste mostra uma hipótese de disposição do substrato rochoso não contemplada neste estudo.

Em uma pequena voçoroca do lado oeste da bacia, próximo a rodovia do contorno, identifica-se uma espessura de entulhamento da Aloformação Manso de aproximadamente 5,5 metros, na parte mais à montante da rampa. No complexo de voçorocas, ao nordeste da bacia, também se verificam espessuras de 7 metros adentrando nas rampas de alúvio-colúvio. Estes exemplos sustentam a utilização da espessura constante (modelo 2), fornecendo indícios de que a espessura pode permanecer expressiva em grande parte da rampa, e só deve sofrer uma forte diminuição propriamente no fim da feição da rampa, no trecho mais à montante. Por outro lado, a utilização do modelo 2 estaria mais de acordo com os dados da literatura (MOURA et al, 1991;MOURA & MELLO, 1991).

7. DISCUSSÕES

A seguir serão discutidos os resultados obtidos, e a contribuição para a questão da dinâmica sedimentar na bacia hidrográfica do Ribeirão dos Três Poços.

7.1 DEPÓSITOS HOLOCÊNICOS DE FUNDOS DE VALE

A análise da estratigrafia dos depósitos holocênicos de fundos de vale forneceu informações sobre a sedimentação ocorrida durante o Evento Manso, onde houve uma produção de sedimentos tão grande que a rede hidrográfica não foi capaz de escoar tamanho volume sedimentar. O resultado deste evento foi o entulhamento generalizado dos vales fluviais e das cabeceiras de drenagem. Até hoje se encontram registros deste evento na paisagem, através das feições morfoestratigráficas representadas pelo terraço alto e as rampas de alúvio-colúvio.

Através dos perfis e seções estratigráficas levantadas ao longo da bacia, observaram-se padrões distintos na interpretação paleoambiental da sedimentação quaternária ocorrida no Evento Manso, correspondente à Aloformação Manso, genericamente sintetizados em três tipos principais.

O primeiro padrão se encontra ao sudeste da bacia, ao longo do canal principal, nos depósitos do terraço superior, situado no domínio do Granito Resgate do embasamento cristalino. A associação de fácies dp perfil estratigráfico 4 e do grupo de perfis 1 (perfis 6, 7 e 8) sugerem paleoambientes em padrões de canais meandrantes, com abundância de argilas de planície de inundação, e preenchimento de canais abandonados (meandros abandonados). Além disso, a composição dos grãos indica uma área fonte do embasamento cristalino, com presença de quartzo, feldspato e micas, existindo muitas camadas de argila extremamente micácea.

Seguindo à jusante da grupo de perfis 1 se nota que a espessura sedimentar aumenta continuamente e significativamente, chegando atingir cerca de 10 metros. Visualmente se identificou a permanência das características de do perfil 4 e do grupo de perfis 1, com presença de espessas camadas de argila. É interessante notar que este espessamento dos depósitos sedimentares está situado, como esperado, na porção distal do que aparenta ser um leque aluvial, formado pelas rampas de alúvio-colúvio desembocando no terraço alto (Figuras 17 e 66).



Figura 66 – Depósito do terraço superior com espessura aproximada de 10 metros. Afloramento localizado no alto curso, em uma feição de leque aluvial, situado 100 metros à jusante do grupo de perfis 1 (perfis 6, 7 e 8).

Trimble (2010), abordando as formas de acreção vertical em planícies de inundação, cita o leque aluvial formado dos tributários como capaz de aumentar significativamente a espessura de deposição. Segundo o autor, na medida em que a entrada do vale de um tributário cria um espaço amplo na planície de inundação, a carga sedimentar do tributário deposita conforme a diminuição do gradiente formando um leque sobre a planície, que acaba aumentando a espessura dos depósitos.

O segundo padrão é encontrado na parte oeste da bacia, em cabeceiras entulhadas próximas à Rodovia do Contorno, situado dentro do domínio da bacia sedimentar de Volta Redonda. Neste setor, representado pelo perfil estratigráfico 11, se constatou um ambiente de baixa energia, tais como brejos, predominantemente argilosa. Este tipo de sedimentação leva a crer que este vale fluvial foi barrado de alguma forma, propiciando uma sedimentação de baixa energia por decantação. As razões que levaram a este barramento são desconhecidas, e podem ter explicações no próprio entulhamento sedimentar que "afogou" os canais fluviais, proporcionando o aparecimento de trechos desconectados completamente da rede hidrográfica. Outra explicação poderia recair sobre a neotectônica, pois à jusante desta

cabeceira se encontra um "cotovelo" de drenagem acintoso, que pode sugerir algum soerguimento na área.

O terceiro padrão estratigráfico se localiza ao nordeste da bacia, em um canal fluvial de 2ª ordem, numa região de cabeceiras, onde se encontra um complexo de voçorocas, e está situado no domínio da bacia sedimentar de Volta Redonda.

Os depósitos levantados nas rampas de alúvio-colúvio (perfil estratigráfico 9) ou bem próximos a mesma (perfil estratigráfico 10), possuem uma sedimentação mais episódica, até por estarem situados onde provavelmente não havia fluxo de água perene (atualmente também não se verifica fluxo de água perene nesta área). Desta forma, a sedimentação aconteceu por meio de sucessivos eventos chuvosos que proporcionavam a remobilização dos sedimentos da área fonte e sua deposição à jusante. Uma característica marcante é a (quase) ausência de lama nos perfis, que indica que as enxurradas dos eventos chuvosos transportavam a (pouca) lama a distâncias maiores, onde entravam no ambiente fluvial, e, além disso, as camadas pelíticas dos depósitos paleogênicos apresentam resistência à erosão, sendo erodidas na forma de pelotas de argila (geralmente seixos).

Os perfis levantados no terraço superior (perfil 12, 14 e 15), e, portanto, no ambiente fluvial, apresentam indicações de fluxos de água perene, mas com influência da sedimentação episódica provocada nas enxurradas. Nestes depósitos, as lamas são encontradas com mais frequência que os depósitos de montante, porém em quantidade pequenas, o que indica que a área fonte poderia não possuir grande quantidade de lama, o que é perfeitamente plausível, se consideramos que as fontes são os depósitos da Formações Resende e/ou da Formação Pinheiral da bacia sedimentar de Volta Redonda.

Existe uma diferença clara na composição desses perfi em relação ao primeiro padrão, situado no embasamento cristalino. A presença de clastos (seixos e blocos) de argilas roxa e verde, litoclastos de arenito lamoso verde, e grãos de quartzo e argila muito bem arredondados, evidencia a peculiaridade de uma sedimentação que possui como área fonte os depósitos paleogênicos da bacia sedimentar de Volta Redonda.

A estratigrafia dos depósitos dos níveis inferiores de sedimentação mostrou um retrabalhamento dos depósitos da Aloformação Manso adjacentes. No embasamento cristalino, o terraço de várzea do perfil estratigráfico 5 mostra o mesmo caráter micáceo do terraço superior do perfil estratigráfico 4. E no domínio da bacia de Volta Redonda, os depósitos apresentam o mesmo caráter de sedimentação episódica em ambiente de encosta (perfil 13), e em ambiente fluvial (perfil 16). Os perfis estratigráficos 2 e 3, localizados em

terraços de várzea no canal principal, mostram uma sedimentação de barra em pontal e planície de inundação em canais meandrantes.

7.2 BALANÇO SEDIMENTAR E QUESTÕES SOBRE A DINÂMICA SEDIMENTAR

A estimativa de balanço sedimentar da bacia do Ribeirão dos Três Poços mostrou que embora existam muitos setores esvaziados, onde a sedimentação correspondente a Aloformação Manso foi completamente removida, a maioria do volume sedimentar, da época do entulhamento da paisagem, foi preservada. Do total inicial de 18.306.752,54 m³ (13.508.317,58 m³ pelo modelo 2) acumulados ao final do Evento Manso, permaneceram dentro da bacia 13.231.155,03 m³ (9.678.732,23 m³ pelo modelo 2), correspondendo à aproximadamente 72% do volume sedimentar original. Para se ter uma ideia destes volumes, uma piscina olímpica com 50 metros de comprimento, 25 metros de largura e 2 metros de profundidade, possui 2.500 m³. Desta forma, o entulhamento registrado durante o evento Manso preencheria 7322 piscinas olímpicas (5403 pelo modelo 2), e o total de sedimentos removidos da bacia corresponderiam a 2030 piscinas olímpicas (1531 pelo modelo 2).

Em relação aos compartimentos, é notável o grande esvaziamento ocorrido no baixo curso (preservação de aproximadamente 50% do volume sedimentar original), e a boa preservação do médio curso (aproximadamente 83% do volume sedimentar original).

Os níveis de sedimentação inferior não tiveram a mesma magnitude do Evento Manso, proporcionando uma deposição de apenas $1.132.028,99 \text{ m}^3.(888.926,02 \text{ m}^3 \text{ pelo modelo } 2)$. Posteriormente, 215.024 m^3 ($168.847,71 \text{ m}^3$ pelo modelo 2) foram removidos pelo entalhamento dos níveis inferiores de sedimentação (apenas 19% do acumulado nestes depósitos). A sedimentação atual estimada também não possui grande magnitude, correspondendo a $701.337,09 \text{ m}^3$ ($515.529,27 \text{ m}^3$).

O baixo percentual de saída dos sedimentos da bacia não é um caso isolado, e já vem sendo discutido na literatura. TRIMBLE (2010), ao discutir os ganhos e perdas do estoque sedimentar, aponta um princípio básico no encadeamento sedimentar de drenagens com planície de inundação:

(...) a acreção vertical nas planícies de inundação permitem taxas de acumulação limitadas somente pelo suprimento, de modo que imensas quantidades de sedimento podem acumular em um curto período de tempo. Mas como a remoção de sedimentos é, em sua maioria, limitada pela erosão de canal, isso pode levar muito mais tempo, talvez na ordem de magnitude

de bacias maiores, onde a planície de inundação é larga. Desta forma, uma "explosão" de sedimentos pode preencher um vale em décadas ou séculos, mas a remoção desses sedimentos pode requerer milênios. O processo principal pode ser expresso como 'entrada rápida, saída lenta' (TRIMBLE, 2010).

Os valores obtidos para esta estimativa de balanço sedimentar está em sincronia com o estudo realizado por BARROS et al. (2007) na bacia do Córrego do Resgate, na cidade de Bananal – SP, também situada no Médio Vale do rio Paraíba do Sul. Na ocasião, os autores apontaram uma preservação de aproximadamente 80% dos depósitos quaternários, a partir do entulhamento do Evento Manso.

Considerando que quase 30% do volume sedimentar da fase de entulhamento foi removido nos eventos posteriores, nota-se que pouco foi depositado na própria bacia (menos de 20% do volume remoblizado), o que significa uma eficiência na saída de sedimentos para o coletor principal, no sentido da entrega de sedimentos (*sediment delivery*). Este dado permite conjecturar que uma vez que o sedimento seja removido, existem poucas possibilidades deste permanecer na bacia.

O alto e o baixo curso são as áreas onde a remobilização de sedimentos foi mais intensa, e onde se encontra a maioria dos fundos de vale esvaziados. Isto significa que o potencial atual de produção de sedimentos destas áreas é pequeno. A produção de sedimentos destas áreas necessitaria de alguma modificação nas condições existentes que propiciasse uma mudança dos níveis de base, ou que intensificassem a erosão no substrato rochoso.

Através da integração do mapa geológico, do mapa de feições deposicionais e erosivas e dos levantamentos e observações de campo, elaborou-se um mapa analítico (Figura 67) que apresenta alguns aspectos importantes para a compreensão da dinâmica sedimentar.

Uma discussão baseada na (des)conectividade pode proporcionar uma visão melhor da dinâmica sedimentar. FRYIRS et al. (2007) abordam a questão da conectividade (e desconectividade) encosta-canal e ao longo da rede de canais, introduzindo a utilização de feições que podem impedir os deslocamento de sedimentos ao longo da bacia hidrográficas. Desta forma, *buffers* ("amortecedores") evitam que sedimentos entrem na rede de drenagem (exemplo: terraços); *barriers* ("barreiras") podem impedir que os sedimentos já situados nos canais se movimentem ao longo da rede (exemplo: níveis de base ao longo do canal fluvial); e *blankets* ("cobertores") cobrem outras formas de depósitos sedimentares, impedindo temporariamente que estes sejam retrabalhados. (exemplo: camada de sedimentos mais resistentes à erosão).



Figura 67 – Mapa analítico da dinâmica sedimentar na bacia do Ribeirão dos Três Poços. Mapa geológico da figura 6 em transparência.

As principais feições deposicionais da bacia do Ribeirão dos Três Poços, sob o ponto de vista morfoestratigráfico, são os terraços superior e as rampas de alúvio-colúvio. Estes agem como amortecedores (*buffers*) no fluxo de sedimentos encosta-canal. Desta forma, os sedimentos produzidos nas cabeceiras de drenagem tem dificuldade de entrar na rede hidrográfica ao se deparar com as rampas e terraços superior, isto porque o caráter plano destas feições favorece a sedimentação. A chave de pensamento para esta hipótese pode ser explicada através de um exemplo, ao questionar qual local onde a transferência de sedimentos ocorre mais rapidamente: em um canal com fluxo perene; em um canal com fluxo efêmero; ou em uma superfície plana com fluxo efêmero não canalizado. Numa análise menos criteriosa, considerando fluxos de mesma energia, e sem considerar outras características do ambiente, a transferência de sedimentos decresceria, respectivamente. E o último caso retrata exatamente a situação das rampas e terraços em canais de baixa ordem (até 2^a ordem pelo método de Strahler).

Por outro lado, o entalhamento do terraço aliado às voçorocas que seguem em direção às rampas e à alta encosta, provoca uma conexão do ambiente de encosta com o ambiente fluvial. Desta forma, a presença de um terraço/rampa pode ser considerada um amortecedor (*buffer*) para entrada de sedimentos de encosta no canal, porém, um terraço/rampa com um complexo de voçorocas conectado ao entalhamento do canal, provoca um escape de sedimentos significativo. Existem dois exemplos elucidativos na bacia do Ribeirão dos Três Poços, que apresentam entalhamento e voçorocas nos terraços e rampas, encontrados na parte sudeste da bacia, nos limites da falha geológica sul da Gráben Casa de Pedra, e na parte nordeste da bacia hidrográfica. A diferença entre as duas situações recai sobre a vegetação. No primeiro caso, a vegetação recobre boa parte do entalhamento e da voçoroca, o que implica menos remobilização sedimentar. A vegetação densa atuaria, neste caso, de certa forma, como um cobertor (*blanket*) para estes sedimentos com potencial de remobilização. Já no segundo caso, quase não existe vegetação densa recobrindo o entalhamento e as voçorocas, o que resulta em uma remobilização de sedimentos intensa e atuante (Figura 68). Desta maneira, o segundo caso teria um grau de conectividade maior do que o primeiro caso.



Figura 68 – Áreas esvaziadas por entalhamento da drenagem e atuação de voçorocas, localizada nos arredores do perfil estratigráfico 16. Nesta foto identificam-se depósitos da transição entre rampas de alúvio-colúvio e o terraço superior (amarelo), um nível inferior de sedimentação (laranja), e a sedimentação atual na cunha sedimentar (vermelho) em um leito seco. Notar ao fundo a atuação das voçorocas nos depósitos paleogênicos.

Neste setor nordeste, onde a conexão encosta-canal é efetiva, percebe-se claramente a erosão ativa das voçorocas, que atingem fortemente os sedimentos quaternários e paleogênicos. Porém a remoção/deposição dos sedimentos acontece de forma episódica, e, portanto, da mesma maneira como o registro estratigráfico realizado nos perfis 9 e 10 sugere que tenha ocorrido a deposição das rampas de alúvio-colúvio, mostrando uma similaridade nos processos erosivos e deposicionais locais (Figura 69).



Figura 69 – Setor dentro da voçoroca. Perfil estratigráfico 9 realizado no afloramento da esquerda. Notar a presença de pequenos níveis de sedimentação (ao lado direito) e a sedimentação atual, que apresenta caráter episódico e entrelaçado.

Na porção sudoeste da bacia, na região do embasamento cristalino, os vales, em sua maioria, apresentam-se esvaziados (Figura 70), e, portanto, sem significativas quantidades de sedimentos a disponibilizar. A exceção se dá ao vale fluvial de sentido NE que contém uma voçoroca ativa, que atinge inclusive o manto de intemperismo do embasamento (figuras 16 e 71). Os sedimentos produzidos nesta região sudoeste tendem a depositar na região onde estão situados os níveis inferiores de sedimentação, por se tratar atualmente de uma área de baixa energia, com presença de muitos brejos. Porém, os sedimentos que forem efetivamente remobilizados e transportados serão dirigidos ao nível de base rochoso situado na falha sul do Gráben Casa de Pedra, que é uma barreira (*barrier*) importante ao longo do curso principal. Possivelmente algum trecho à montante desse *knick point* poderá reter sedimentos, devido à baixa energia que um nível de base proporciona nos segmentos fluviais à montante.



Figura 70 – Vale esvaziado e fortemente encaixado na direção NE-SW, situado no alto curso da bacia (setor esvaziado da figura 67).



Figura 71 – Fotomosaico de voçoroca que remobilizou sedimentos de rampa de alúvio-colúvio e atingiu o embasamento cristalino (à direita), onde também pode se observar escorregamentos. Trata-se da mesma voçoroca da figura 16.

A Rodovia do Contorno atravessa o trecho oeste da bacia, cortando-a numa direção norte-sul, aproximadamente. A presença da rodovia impede que os sedimentos das cabeceiras cortadas cheguem ao canal fluvial coletor.

O canal fluvial principal situado na parte norte da bacia, no baixo curso, se apresenta encaixado nas rochas do embasamento cristalino, no sentido norte. Neste trecho, que contém diversos pequenos níveis de base rochosos, percebe-se claramente a sedimentação atuante,

mas não se consegue distinguir se esta área tem um caráter maior de deposição final ou de transporte. A questão atual consiste em saber se esse pacote sedimentar atualmente situado na cunha sedimentar (leito fluvial) do canal sofrerá agradação fluvial, ou será transportado eficientemente para o rio Paraíba do Sul, coletor principal da região. Esta questão não é fácil de ser respondida, e depende de um monitoramento da quantidade de sedimentos que entram nos canais fluviais, e da capacidade destes de transportá-los.

No domínio do Gráben Casa de Pedra, em algumas localidades o entalhamento formador do terraço superior no canal principal se apresenta mais estreito e confinado, o que indica um recuo lateral de baixa intensidade. Isto ocorre em razão do entalhamento ter alcançado as litologias da bacia de Volta Redonda, que se são bem mais compactas e resistentes à erosão quando comparadas aos sedimentos quaternários.

Em relação à neotectônica regional, SANSON (2006) aponta que o evento tectônico deformador mais recente associa-se a um regime extensional NW-SE (fase tectônica E2; figura 3), de idade holocênica, afetando desde os depósitos paleogênicos até os sedimentos quaternários. O autor ainda enfatiza que os lineamentos estruturais de direção NE-SW que ocorrem ao longo de feixes contínuos, particularmente nos limites do gráben da Casa de Pedra e na região a norte do rio Paraíba do Sul, são relacionadas a esta fase, sendo importantes na segmentação do registro paleogênico.

Desta forma, uma explicação para o significativo evento erosivo, que gerou os depósitos do evento Manso, é o movimento das falhas normais do gráben Casa de Pedra. Na falha sul do gráben, onde se localiza um leque aluvial (Figuras 17 e 66) de espessura expressiva (em torno de 10 metros) pode ser uma combinação da chegada intensa de sedimentos junto à movimentação da falha gerando espaços de acomodação.

Discutindo as situações de ocorrência de leques aluviais, HARVEY (2010) aponta que à jusante de áreas elevadas ou montanhosas, com altas taxas de geração de sedimentos pode haver uma perda na capacidade de transporte de sedimentos ou da força da corrente que resulta em deposição. Como houve um expressivo evento erosivo que forneceu uma enorme quantidade de sedimentos que excedeu a capacidade de transporte dos canais fluviais, gerando o reconhecido entulhamento (MOURA & MELLO, 1991; MELLO, 1992), houve altas taxas de geração de sedimentos, conforme o presente estudo verificou. HARVEY (2010) elucida que tais zonas são frequentemente associadas com decréscimo de confinamento, e por consequência um acréscimo no espaço de acomodação, e resulta em deposição na forma de um cone de detritos ou de um leque aluvial. No caso específico da bacia hidrográfica do Ribeirão dos Três Poços, o acréscimo no espaço de acomodação pode ter sido gerado pela reativação da falha durante a fase tectônica mais recente (SANSON, 2006).

O alto e o baixo curso são as áreas que apresentam um esvaziamento mais expressivo, e estão localizadas em altos estruturais do gráben e da bacia sedimentar. O processo de esvaziamento destas áreas pode estar ligado às movimentações tectônicas da fase E2, que também explicam a presença de anomalias de drenagem (vales suspenso, cotovelos de drenagem e interflúvios em vale), conforme foi mostrado anteriormente na figura 21.



Figura 72 – Nível de base rochoso situada na linha de falha sul do Gráben Casa de Pedra. Este desnível contribuiu para a sedimentação nas áreas à montante, situadas no embasamento cristalino.

A reativação das falhas do gráben Casa de Pedra podem ter reposicionado os níveis de base existentes (Figura 72), de modo que o reencaixamento da drenagem e a deposição dos níveis inferiores de sedimentação podem estar ligados a estes "novos" níveis de base que, em um primeiro momento poderiam contribuir para o esvaziamento à jusante, e reter sedimentos à montante.

Desta forma, os resultados obtidos no presente estudo associados aos dados de movimentação tectônica holocênica de SANSON (2006), sugerem um forte controle neotectônico tanto na sedimentação associada ao evento Manso, quanto na retomada erosiva e encaixamento da drenagem.

8 CONCLUSÕES

Este trabalho tentou reunir subsídios, através de diferentes práticas metodológicas, para a compreensão do balanço sedimentar holocênico da bacia do Ribeirão dos Três Poços.

O mapeamento das feições deposicionais e erosivas permitiu o reconhecimento das feições morfoestratigráficas holocênicas, representadas pelo terraço superior, rampa de alúvio-colúvio e nível inferior de sedimentação, e das feições erosivas, representadas por fundos de vale esvaziado, entalhamentos e voçorocas (todos sintetizados como "áreas esvaziadas"). O mapeamento mostrou que o alto e o baixo curso foram significativamente esvaziados, nos eventos pós-Manso. O médio curso apresentou uma boa preservação das feições morfoestratigráficas de terraço superior e rampas de alúvio-colúvio.

A análise sedimentológica dos terraços fluviais e rampas de alúvio-colúvio forneceu alguns elementos para a elaboração de um panorama da Aloformação Manso, associada ao evento Manso, na bacia do Ribeirão dos Três Poços. Os depósitos situados no terraço superior, ao longo do canal fluvial principal, no alto curso, apresentam uma sedimentação pelítica significativa interpretada como depósitos (e brejos) de planície de inundação (*overbank*), canais abandonados ou depósitos de inundação de baixa intensidade (*waning flood deposits*). Os depósitos inseridos no gráben Casa de Pedra, em cabeceiras de drenagem com canais fluvias de baixa ordem, podem apresentar tanto um aspecto pelítico (ao oeste da bacia, no médio curso), quanto areno-cascalhoso (ao nordeste da bacia, no baixo curso). Neste último caso, nota-se uma forte influência das enxurradas (fluxos torrenciais) nos depósitos verificados, indicando um sedimentação episódica. O caráter areno-cascalhoso é oriundo da área fonte de sedimentos, representada pelos depósitos paleogênicos, e a pouca quantidade de lama se deve ao fato desta ser escassa na área fonte, e ser disponibilizada geralmente sob a forma de litoclastos de argila. Os depósitos associados aos níveis inferiores de sedimentação seguiram os mesmos aspectos de sedimentação verificados nos terraços e rampas adjacentes.

O balanço sedimentar holocênico foi apresentado através de dois modelos principais: de espessura dos depósitos constante (modelo 1); e semi-cilindros nos depósitos fluviais com elipsoides nas rampas (modelo 2). Estes representam, teoricamente, o máximo e o mínimo dos volumes sedimentares envolvidos nos episódios de retenção e evasão de sedimentos. O balanço sedimentar da bacia do Ribeirão dos Três Poços mostrou que mais de 70% dos sedimentos acumulados na fase de entulhamento da paisagem (evento Manso) ainda permanecem na bacia. Por outro lado, a evasão de sedimentos (*sediment delivery*) se mostrou eficiente, pois do volume total removido, apenas uma pequena quantidade foi retida na bacia. Assim como o mapeamento de feições deposionais e erosivas, o balanço sedimentar mostrou que o alto e o baixo curso foram esvaziados significativamente, com uma remobilização efetiva de aproximadamente 30% e 50%, respectivamente. O médio curso, inserido majoritariamente no gráben Casa de Pedra, foi o local de maior deposição durante o evento Manso, e também foi o compartimento menos sofreu esvaziamento, mantendo mais de 80% do volume sedimentar original dentro dos domínios do compartimento.

As taxas de erosão anual estimadas mostram que, apesar da existência de um ritmo erosivo significativo na bacia nos eventos pós-Manso, o evento erosivo originário da instabilidade ambiental, que forneceu o grande volume sedimentar que entulhou a paisagem, foi de uma ordem grandeza muito superior. Se utilizarmos um período de deposição teórica do evento Manso de 1060 anos – o mesmo período utilizado para a deposição dos níveis inferiores – a taxa de sedimentação anual seria de 17.270 m³/ano (12.743 m³/ano pelo modelo 2). Percebe-se a disparidade de magnitude ao constatar que a taxa de erosão anual máxima registrada para os episódios erosivos nos depósitos entulhados não chega a 5000 m³/ano (também calculado para um período de 1060 anos). Desta forma, conjecturou-se que, dependendo da duração do evento Manso, a taxa de erosão anual que gerou os depósitos pode ter atingido 100.000 m³/ano (75.000 m³/ano pelo modelo 2), considerando que a maioria dos sedimentos disponibilizados conseguiram chegar ao coletor principal.

O futuro comportamento erosivo-deposicional da bacia do Ribeirão dos Três Poços é de difícil previsão. O Médio Curso da bacia, apesar de preservar 80% do volume sedimentar original, está em um processo de esvaziamento, mais acentuado nas bordas dos canais e voçorocas, onde a remobilização de sedimentos é mais intensa. Caso não haja evento que gere uma modificação ambiental, seja de origem tectônica (movimentações das falhas do Gráben Casa de Pedra) ou antrópica (modificações no uso do solo), espera-se um esvaziamento contínuo e de longa duração (quando comparado ao tempo de preenchimento dos depósitos) no Médio Curso, e uma estabilidade na paisagem dos Alto e Baixo Cursos, por se apresentarem esvaziados. Desta forma, deve-se se alertar que grandes interferências no uso do solo (desmatamentos, intensificação da atividade agropecuária, etc.) podem aumentar a intensidade dos processos erosivos atuantes na bacia, proporcionando a remobilização de grande quantidade de sedimentos.

Os modelos utilizados para a estimativa do balanço sedimentar apresentaram um panorama dos volumes envolvidos nos episódios deposicionais e erosivos da bacia. Porém,

tais modelos podem ser melhor calibrados ao utilizar métodos geofísicos de investigação em subsuperfícies. O *ground penetrating radar* (GPR) já foi utilizado com eficácia em depósitos quaternários da região por MADEIRA (2002), e pode contribuir para cálculos mais precisos do volume sedimentar.

- ALMEIDA, F.F.M & CARNEIRO, C.D.R. Origem e evolução da Serra do Mar. **Revista Brasileira de Geociências**, 1998. 28(2):135-150.
- ASMUS, H.E. & FERRARI, A.L. Hipótese sobre a causa do tectonismo cenozóico na região sudeste do Brasil. In: PETROBRÁS. Aspectos estruturais da margem continental leste e sudeste do Brasil. Rio deJaneiro, 1978. PETROBRÁS/CENPES/DINTEP. p.75-88. (Projeto REMAC 4).
- BARROS, M.A. Transição Pleistoceno/Holoceno, médio vale do Rio Paraíba do Sul (SP/RJ): uma abordagem palinológica. 2003. Rio de Janeiro - UFRJ. Tese de Doutorado em Geologia UFRJ/PPGL. 200p.
- BARROS, S.C. Análise de Feições Erosivas Canalizadas em Cabeceira de Drenagem em Anfiteatro – Bacia do Córrego Santa Rita, Volta Redonda (RJ). 2009. Rio de Janeiro – UFRJ. Monografia de Especialização em Geologia do Quaternário - Museu Nacional/UFRJ. 67 p.
- BARROS, M.A.; BARTH, O.M.; MELLO, C.L.; MOURA, J.R.S. & PEIXOTO, M.N.O.
 Recent pollen deposition in Bananal region, middle valley of Paraíba do Sul river,
 Brazil. In: GEOVEG99 IGU MEETING ON GEOMORPHIC RESPONSES TO
 ENVIRONMENTAL (VEGETATION) CHANGES, PROBLEMS AND REMEDIAL
 WORK. Anais...Rio de Janeiro, 1999, Brasil.
- BARROS, M.A.; MELLO, C.L.; BARTH, O.M.; MOURA, J.R.S.; PEIXOTO, M.N.O. & CHAVES, S.A.M. Estudos palinológicos na avaliação das transformações ambientais recentes em áreas degradadas - médio vale do rio Paraíba do Sul (SP/RJ). In: SIMPÓSIO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 5, São Paulo (SP). Anais..., 1993. p. 153-156.
- BARROS, M.A.; BARTH, O.M; MELLO, C.L.; MOURA, J.R.S. & PEIXOTO, M.N.O. História recente da vegetação e o uso da terra no médio vale do Rio Paraíba do Sul. Leandra, 2000. 15: 47-57.
- BARROS, S. C.; PELECH, A.S. & PEIXOTO, M.N.O. Avaliação da Produção de Sedimentos em Cabeceiras de Drenagem entulhadas na Sub-bacia do Córrego Resgate (Bananal, SP). In: X SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, Diamantina, 2007. *Livro de Resumos*, 2007.Diamantina, p.151.
- BRIERLEY, G. & FRYIRS, K. A Fluvial Sediment Budget for Upper Wolumla Creek, South Coast, New South Wales, Australia. Australian Geographer, 1998. 29(1): 107-123.

- BRIERLEY, G.J. & MURN, C.P. European impacts on downstream sediment transfer and bank erosion in Cobargo catchment, New South Wales, Australia. Catena, 1997. 31: 119-136.
- BROOKS, A.P. & BRIERLEY, G.J. Framing realistic river rehabilitation targets in light of altered sediment supply and transport relationships: lessons from East Gippsland, Australia. Geomorphology, 2004. 58: 107-123.
- BROWN, A.G.; CAREY, C.; ERKENS, G.; FUCHS, M.; HOFFMANN, T.; MACAIRE, J.; MOLDENHAUER, K.; WALLING, D.E. From sedimentary records to sediment budgets: Multiple approaches to catchment sediment flux. Geomorphology, 2009. 108: 35-47.
- BURT, T.P. & ALLISON, R.J. Sediment Cascades in the Environment: An Integrated Approach. In: Burt, T.P. & Allison, R.J. (organizadores). Sediment Cascades: An Integrated Approach. 2010, Wiley-Blackwell. p. 1-15.
- COSTA, K.M.R. Análise Palinológica e Faciológica de Depósitos Fluviais Recentes, Bananal (SP/RJ). Rio de Janeiro – UFRJ, 2000. Dissertação de Mestrado em Geologia -UFRJ/PPGL. 74p.
- COSTA, K.M.R.; BARTH, O.M.; MORAIS, R.M.O. & MELLO, C.L. Variações no conteúdo palinológico preservado em depósitos fluviais recentes, Bananal (SP/RJ). In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 7, Anais... Porto Seguro (BA), 1999. CD ROM.
- COELHO NETTO, A.L. Catastrophic Landscape Evolution in a Humid Region (SE Brazil): Inheritances From Tectonic, C1imate and Land Use Induced Changes. In: GEOVEG99, GEOVEG99 - IGU MEETING ON GEOMORPHIC RESPONSES TO ENVIRONMENTAL (VEGETATION) CHANGES, PROBLEMS AND REMEDIAL WORK. Anais... Rio de Janeiro, Brasil, 1999.
- CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. República Federativa do Brasil. **Mapa de Geodiversidade (corte ao milionésimo)**. 2002. Disponível em: http://geobank.sa.cprm.gov.br/. Acesso em: 30 out. 2011.
- CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. República Federativa do Brasil. **Mapa** geomorfológico (Folha Volta Redonda/Ilha Grande). 2000. Mapa colorido. Escala 1:250.000. Disponível em: http://www.cprm.gov.br. Acesso em: 20 jun. 2011.
- CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. República Federativa do Brasil. **Mapa** geológico (Folhas Volta Redonda e Santa Rita de Jacutinga). 2007. Mapa colorido. Escala 1:100.000. Disponível em: http://www.cprm.gov.br. Acesso em: 20 jun. 2011.

- DANTAS, M.E. Controles naturais e antropogênicos da estocagem diferencial de sedimentos fluviais: Bacia do rio Bananal (SP/RJ), Médio Vale do rio Paraíba do Sul. Rio de Janeiro – UFRJ, 1995. Dissertação de Mestrado em Geografia -UFRJ/PPGG. 142p.
- DANTAS, M.E. & COELHO NETTO, A.L. Late Quaternary Fluvial Sedimentation in the Bananal River basin, Middle Paraíba do Sul Valley, Brazil: sedimentation and lowering rates. In: GEOVEG99, GEOVEG99 - IGU MEETING ON GEOMORPHIC RESPONSES TO ENVIRONMENTAL (VEGETATION) CHANGES, PROBLEMS AND REMEDIAL WORK. Anais... Rio de Janeiro, Brasil. 1999.
- DEL POZO, I.F.S. Modelagem de conectividade da paisagem com base na análise espacial de variáveis geomorfológicas e cobertura da terra em bacias hidrográficas Municípios de Volta Redonda e Pinheiral (RJ). Rio de Janeiro UFRJ, 2011. Dissertação de Mestrado em Geologia -UFRJ/PPGg. 133p.
- DIAS, J. E. Análise ambiental por geoprocessamento do município de Volta Redonda. 1999. Dissertação de Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais. Seropédica – UFRRJ. 180p.
- DIETRICH, W.E. & DUNNE, T.D. Sediment budget for a small catchment in mountainous terrain. Zeitschrift für Geomorphologie, 1978. Supplementeband 29: 191-206.
- FRYIRS, K. & BRIERLEY, G.J. Slope–channel decoupling in Wolumla catchment, New South Wales, Australia: the changing nature of sediment sources following European settlement. Catena, 1999. 35: 41-63.
- FRYIRS, K.A.; BRIERLEY, G.J.; PRESTON, N.J. & KASAI, M. Buffers, barriers and blankets: The (dis)connectivity of catchment-scale sediment cascades. Catena, 2007. 70: 49-67.
- FÖRSTER, H. & WUNDERLICH, J. Holocene sediment budgets for upland catchments: The problem of soilscape model and data availability. **Catena**, 2009. 77: 143-149.
- FOSTER, G.C.; CHIVERRELL, R.C.; THOMAS, G.S.P.; MARSHALL, P. & HAMILTON, D. Fluvial development and the sediment regime of the lower Calder, Ribble catchment, northwest England. Catena, 2009. 77: 81-95.
- HARVEY, A.M. Local Buffers to the Sediment Cascade: Debris Cones and Alluvial Fans. In: Burt, T.P. & Allison, R.J. (organizadores). Sediment Cascades: An Integrated Approach. 2010, Wiley-Blackwell. p. 153-180.
- IERVOLINO, P. Mapeamento do Potencial de Ocorrência de Feições Erosivas com Base em Geoprocessamento - Barra Mansa/RJ. Rio de Janeiro – UFRJ, 1999 Dissertação de Mestrado em Geografia - UFRJ/PPGG. 102p.

- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. República Federativa do Brasil. **Mapa de Unidades de Relevo do Brasil**. 2006. Escala 1:5.000.000. Disponível em: ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas/tematicos/mapas_murais/ Acesso em: 28 jul. 2011.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. República Federativa do Brasil. Modelo Digital de Elevação, folha 2743-2 NE. 2007. Escala 1:25.000. Disponível em: http://www.ibge.gov.br. Acesso em: 10 fev. 2011.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. República Federativa do Brasil. Fotografias aéreas (ortofotomosaico), folha 2743-2 NE. 2008. Escala 1:25.000. Disponível em: http://www.ibge.gov.br. Acesso em: 10 fev. 2011.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. República Federativa do Brasil. **Base** cartográfica integrada ao Milionésimo. 2009. Disponível em: www.ibge.gov.br. Acesso em: julho 2010.
- LANE, S.N.; REID, S.C.; TAYEFI, V; YU, D. & HARDY, R.J. Reconceptualising coarse sediment delivery problems in rivers catchment-scale and diffuse. **Geomorphology**, 2008. 98: 227-249.
- MADEIRA, C.V.; MELLO, C.L. & MOURA, J.R.S. Fluvial deposition response to recent environmental changes: the Resgate Alloformation study-case. In: GEOVEG99 - IGU MEETING ON GEOMORPHIC RESPONSES TO ENVIRONMENTAL (VEGETATION) CHANGES, PROBLEMS AND REMEDIAL WORK. Anais... Rio de Janeiro, Brasil. 1999.
- MADEIRA, C.V. Estratigrafia e arquitetura de depósitos sedimentares quaternários no SE do Brasil, com base em reflexão de ondas de radar. Rio de Janeiro UFRJ, 2002. Tese de Doutorado em Geologia UFRJ/PPGG. 265p.
- MEIS, M.R.M. & MOURA, J.R.S. Upper Quaternary Sedimentation and Hillslope Evolution: Southeastem Brazilian Plateau. **Amer. Joum. of Science**, 1984. 284:241-254.
- MELO, M.S.; RICCOMINI, C.; CAMPANHA, G.A.C.; MIOTO, J.A.; ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y.; PONÇANO, W.L.; GIMENEZ, A.F. Estudos geológico-tectônicos na Bacia de Resende (RJ) e sedimentos terciários de Volta Redonda (RJ) e Bacia de Taubaté (área de Cruzeiro-SP). Relatório 17.737, IPT, São Paulo, 1983. 124p.
- MELLO, E.V. PEIXOTO, M.N.O.; SILVA, T.M.; MOURA, J.R.S. Evolução da rede de drenagem e transformações tecnogênicas nos canais fluviais em Volta Redonda (RJ), médio vale do Paraíba do Sul. 2005. In: X CONGRESSO DA ABEQUA – I ENCONTRO BRAS. DO TECNÓGENO. Boletim de resumos. Guarapari, 2005.

- MELLO, C.L. Fácies Sedimentares, Arquitetura Deposicional e Relações Morfoestratigráficas em um Sistema de Leques Aluviais Holocênicos: Aloformação Manso- Médio vale do rio Paraíba do Sul (SP/RJ). Rio de Janeiro – UFRJ, 1992. Dissertação de Mestrado em Geologia - UFRJ/PPGL. 188p.
- MELLO, C.L.; MOURA, J.R.S.; CARMO, I.O.; SILVA, T.M. & PEIXOTO, M.N.O. Eventos de sedimentação durante o Holoceno no Médio Vale do rio Paraíba do Sul – Aloestratigrafia e Datações por Radiocarbono. *In*: CONG. ASSOC. BRAS. ESTUDOS DO QUATERNÁRIO. Anais..., Niterói, 1995. p.193-200.
- MIALL, A.D. The Geology of Fluvial Deposits: Sedimentary Facies, Basin Analysis and Petroleum Geology. Springer-Verlag, New York, 1996. 582p.
- MORAIS, R.M.O.; MELLO, C.L.; COSTA, K.M.R. & BARTH, O.M. Estudo das fácies sedimentares e do conteúdo palinológico associado em depósitos fluviais recentes -Bananal (SP/RJ). An. Acad. bras. Ci., 1999. 71(4-I): 853.
- MOURA, J.R. & MELLO, C.L. Classificação Aloestratigráfica do Quaternário Superior na Região de Bananal(SP/RJ). **Revista Brasileira de Geociências**, 1991. 21 (3): 236-254.
- MOURA, J.R.S.; PEIXOTO, M.N.O. & SILVA, T. M. Geometria do relevo e estratigrafia do quaternário como base à tipologia de cabeceiras de drenagem em anfiteatro médio vale do rio Paraíba do Sul. **Revista Brasileira de Geociências**, 1991. 21 (3): 255-265.
- OLIVEIRA, A.M.S.; BRANNSTROM, C.; NOLASCO, M.C.; PELOGGIA, A.U.G.; PEIXOTO, M.N.O. & COLTRINARI, L. Tecnógeno: Registros da Ação Geológica do Homem. In: Souza, C.R.; Suguio, K.; Oliveira, A.M.S.; Oliveira, P.E. (orgs.) O Quaternário no Brasil. São Paulo: ABEQUA/FAPESP. 2005.
- PEIXOTO, M.N.O. Estocagem de Sedimentos em Cabeceiras de Drenagem em Anfiteatro
 : Médio Vale do Rio Paraíba do Sul (SP/RJ). Rio de Janeiro UFRJ, 1993. Dissertação de Mestrado em Geografia - UFRJ/PPGG. 192p.
- PEIXOTO, M.N.O. Evolução do Relevo, Coberturas Sedimentares e Formação de Solos em Superfícies Geomorfológicas – Médio Vale do rio Paraíba do Sul (SP/RJ). Rio de Janeiro – UFRJ, 2002. Tese de Doutorado em Geografia - UFRJ/PPGG. 197p.
- PELECH, A.S. Dinâmica de estocagem de sedimentos durante o Holoceno na bacia do Córrego do Resgate, Bananal – SP. Rio de Janeiro – UFRJ, 2008. Trabalho de conclusão de curso em Geografia - UFRJ. 52p.
- PINTO, S.T. Feições Erosivas Canalizadas e Conectividade da Paisagem em Bacias Hidrográficas – Médio Vale do Rio Paraíba do Sul (RJ/SP). Rio de Janeiro – UFRJ, 2009. Dissertação de Mestrado em Geografia - UFRJ/PPGG. 125p.

- REID, L.M. & DUNNE, T. **Rapid evaluation of sediment budgets**. Reiskirchen: Germany, Catena Verlag, 1996 (GeoEcology paperback). 164p.
- RICCOMINI, C. **O Rift continental do sudeste do Brasil**. São Paulo:Instituto de Geociências Universidade de São Paulo. 1989. (Tese de Doutoramento).
- SALGADO, C.M. A Influência da Erosão Linear na Dinâmica Evolutiva de Bacias de Drenagem – Paty do Alferes (RJ). Tese (Doutorado em Geografia), Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2004. Rio de Janeiro. 192p.
- SANSON, M.S.R. Sistemas Deposicionais Aluviais e Tectônica Rúptil Cenozóica na Região de Volta Redonda (RJ): Rift Continental do Sudeste do Brasil. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006. Rio de Janeiro. 142p.
- SCHROTT, L. & SASS, O. Application of Field geophysics in geomorphology: Advances and limitations exemplified by case studies. **Geomorphology**, 2008. 93: 55-73.
- TRIMBLE, S.W. Streams, Valleys and Floodplains in the Sediment Cascade. In: Burt, T.P. & Allison, R.J. (organizadores). Sediment Cascades: An Integrated Approach. 2010, Wiley-Blackwell. p. 307-343.
- WALLING, D.E.; RUSSELL, M.A.; HODGKINSON, R.A. & ZHANG, Y. Establishing sediment budgets for two small lowland agricultural catchments in the UK. **Catena**, 2002. 47: 323-353.