

QUANTIFICATION OF GULLY EROSION CONTRIBUTION TO THE CRUZES RIVER SILTATION.

Eng. André Aukar Britschgy de Camargo

Mestrando Escola de Engenharia de São Carlos - USP.
andreaukar@sc.usp.br

Eng. Júlio Issao Kuwajima

Mestrando Escola de Engenharia de São Carlos - USP.
jkuwajima@gmail.com

Eng. Diego Mendonça Arantes

Mestrando Escola de Engenharia de São Carlos - USP.
diego-engambiental@hotmail.com

Prof. Dr. Frederico Fábio Mauad

Prof. Dr. Escola de Engenharia de São Carlos - USP.
mauadffm@sc.usp.br

Abstract:

This project aims to assess and quantify the contribution of gully erosion to the siltation in the river of Cruzes. The importance of this proposal is to generate data of the volume of eroded soil that contributed to the siltation. The study was conducted through theoretical research, data collection in the study area and through computer simulation. To quantify the silted volume inside the river the comparison of these two data allows a quantification of the volume of collapsed soil from the gully into the river of Cruzes in previous years of the survey. Based on Digital Elevation Models (DEM), was calculated the volume of 32.30 hm³ of silt in the river of Cruzes, 15 years after the dam construction. Therefore, the sedimentation rate was 2.46% per year, which exceeds the national and international averages. So far, one third of the length of the gully, was surveyed with topography, demonstrating the high potential for siltation caused by such erosion.

Palavra-chave: Assoreamento, voçoroca, batimetria.

Introdução:

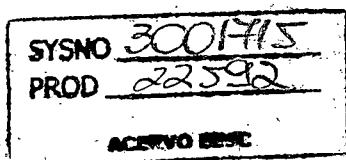
A produção de sedimentos nas bacias hidrográficas tem suas origens nos processos erosivos decorrentes do mau planejamento de uso e ocupação do solo. Solos desnudos ou com baixa proteção em regiões tropicais, onde a pluviosidade é mais freqüente e intensa, são freqüentemente erodidos pela ação da água da chuva que desagrega e lava o solo exposto e, por consequência, transporta este material ao leito dos rios que drenam a bacia hidrográfica.

Trabalhos como os desenvolvidos por Moraes et al. (2004), Ferreira et al. (2005), Sobral et al. (2006), Casalí et al. (2006), Silva et al. (2007), Lucena et al. (2007), Valério et al. (2008), Descroix et al. (2008), Henrique (2009) e Ide (2009) abordam o mau planejamento do uso e ocupação do solo como precursor no aumento dos índices de aporte de sedimentos nos recursos hídricos.

Ide (2009), por exemplo, estudou a interferência do uso e ocupação do solo na aceleração do processo erosivo a partir da análise de ensaios in situ e em laboratório, afirmando que a evolução das erosões urbanas em Bauru (SP) se agrava com o desmatamento, impermeabilização do solo e deságue de águas pluviais e esgoto devido a projetos inadequados e falta de infra-estrutura de drenagem. Da mesma forma nas áreas rurais, Descroix et al. (2008) também relataram o efeito do desmatamento e do uso e ocupação do solo como precursores no processo de erosão laminar e por sulcos em regiões montanhosas da bacia hidrográfica do rio Nazas, México. Casalí et al. (2006) afirmam que sulcos e ravinas são comuns em áreas de cultivo e pastagem ao redor do mundo e podem causar grandes perdas de solo. Moraes et al. (2004) ressaltam em seus estudos que embora os processos superficiais relacionados ao escoamento superficial e ao uso e ocupação do solo sejam cruciais, os processos sub-superficiais, como mineralogia e textura, também são importantes na determinação do surgimento de ravinas e voçorocas, principalmente relacionados a formação de piping que aceleram estes tipos de processos erosivos.

Henrique (2009), por outro lado, utilizou o manejo adequado do uso do solo e do reflorestamento na busca de soluções para evitar a erosão hídrica e o aumento das cargas poluidoras difusas, aumentando a disponibilidade e qualidade de água. Quando aplicadas a montante das bacias hidrográficas, estas técnicas beneficiam, por consequência, usuários de água a jusante da bacia. Os Percentuais de Abatimento de Sedimentação para um cenário com aumento de 20% da área florestal das bacias, segundo o autor, podem chegar à ordem de 35%.

No oeste do estado de São Paulo o uso e ocupação do solo se deram pela expansão agrícola no início do século XX com a cafeicultura ao longo das ferrovias. Com a crise do mercado internacional e a consequente queda nos preços do café, outros insumos agrícolas passaram a prevalecer na região, predominando atualmente a pecuária bovina de corte extensiva. O prevailecimento de critérios de ordem econômica de crescimento favoreceu um desmatamento desordenado na região que, em conjunto com as condições naturais do solo e clima do oeste do estado, culminaram em alterações nítidas do meio ambiente, principalmente no que tange os processos da sedimentação (FUJIHARA, 2002).



Desta maneira, a conjugação de fatores relativos às características do meio físico, aliada à ocupação agressiva do Oeste Paulista, fez com que esta região se tornasse uma das áreas com maior número e maior diversidade de atuação de processos erosivos no estado de São Paulo (BOIN, 2000).

O impacto da erosão nos recursos hídricos na região oeste do Estado já se manifesta através do assoreamento de cursos de água e de reservatórios. A erosão e o assoreamento trazem, como um de seus efeitos, maior frequência e intensidade de enchentes e alterações ecológicas que afetam a fauna e a flora. Também a perda de capacidade de armazenamento de água de reservatórios gera sérios problemas de abastecimento e exige obras de regularização e desassoreamento.

O conhecimento do estado da erosão e assoreamento, de seus impactos ambientais e o prognóstico de sua evolução com base na definição da suscetibilidade dos terrenos é imprescindível à definição das ações governamentais como: estabelecer prioridades para as áreas de aplicação de investimentos em obras corretivas, orientarem a expansão urbana, definir as adequações necessárias à implantação de obras viárias que atravessem áreas de alta suscetibilidade à erosão.

Portanto, um dos problemas de relevante interesse acadêmico, decorrentes do uso e ocupação inadequada do solo nas bacias hidrográficas, está diretamente relacionado aos sedimentos e seus impactos associados desde sua produção à deposição final. Neste contexto, a sedimentologia, disciplina que estuda os sedimentos, compreende uma área de conhecimento com grande importância mundial para, por exemplo, projetos e operações de obras fluviais, bem como conservação das terras e de recursos hídricos.

Os agentes erosivos, elementos do meio físico que causam, ou afetam, diretamente a erosão, são classificados em agentes passivos e agentes ativos. Os passivos são aqueles que não atuam diretamente nos processos de erosão, porém colaboram no desencadear do processo, como, por exemplo, topografia, gravidade, o tipo de solo, a cobertura vegetal, as formações superficiais e as ações antrópicas. Já os agentes ativos contribuem diretamente em todas as etapas do processo erosivo. São eles: a água, temperatura, insolação, vento, gelo, neve, ação de microorganismos e ainda a ação humana. Levando-se em conta estes agentes erosivos e seus fatores, Wischmeier e Smith (1978) desenvolveram a primeira Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) para estimativa da erosão laminar em termos médios anual, posteriormente melhorada por outros pesquisadores, passando a ser a fórmula mais empregada nesta determinação (CARVALHO, 2008).

O uso da EUPS para avaliar as perdas de solo de uma área cultivada vem se tornando prática indispensável para o planejador conservacionista (BERTONI & NETO, 2008). Exemplos de uso desta fórmula podem ser encontrados nos trabalhos de Mansor et al. (2002), que estudaram o "comprimento da rampa", componente do fator LS da Equação Universal de Perdas de Solo, como parâmetro de avaliação do potencial de risco de erosão. Da mesma forma, Guimarães e Santos (2007), baseados nas características pedológicas, do relevo e do uso e ocupação, fizeram um diagnóstico do potencial à erosão laminar da bacia hidrográfica da represa Piraquara I, responsável por abastecer a região metropolitana de Curitiba (PR), como uma ferramenta de suporte a detecção de áreas-fonte ao assoreamento da barragem.

Por outro lado, a confiabilidade da EUPS e outras técnicas foram contestadas por Souza et al. (2006) a partir de estudos e comparações das metodologias mais utilizadas de estimativa de produção de sedimentos, averiguando uma diferença de magnitude nos resultados em até 41 vezes, na bacia do rio Potiribu (RS).

O fato de a EUPS utilizar dados indiretos para predição do volume médio de sedimento perdido por erosão laminar durante certo período de tempo em uma região, a equação desconsidera a perda de solo proporcionada pela formação de sulcos e ravinas no terreno. Rijdsdijk et al. (2007) estimaram a contribuição de sedimentos de voçorocas na Indonésia como sendo superior a 10% dos sedimentos totais encontrados na foz da bacia hidrográfica do Konto e Ndomba et al. (2009) estimaram a contribuição da produção de sedimentos de uma voçoroca na região nordeste da Tanzânia levando em consideração 10 parâmetros ambientais e ferramentas computacionais, chegando a um montante de 6.800 t/ano, aproximadamente 1,6% do total de sedimentos encontrados na foz do rio Pangani, principal drenagem da bacia de estudo. Ambos os estudos demonstram a importância da contribuição de sulcos e voçorocas no montante final de sedimento transportado nas bacias hidrográficas.

Casasnovas (2003) explica que as voçorocas têm um elevado grau de expansão lateral em relação ao recuo de sua cabeceira ou avanço linear devido à falta de estabilidade das paredes laterais da cavidade. A erosão provocada pela ação de fricção da drenagem na base dos barrancos em conjunto com a ação da gravidade leva ao contínuo desmoronamento das laterais e alargamento da voçoroca. Os sedimentos desprendidos em grandes massas das paredes geralmente são removidos pela água após chuvas de alta intensidade contribuindo significativamente para o aumento do nível de sedimentos em suspensão nos corpos d'água receptores. Apenas em poucos casos os sedimentos são depositados nas paredes ou no fundo da voçoroca, podendo levar a certo grau de estabilização da erosão (BRAYSHAW & HASSAN, 2009). Com isso, Casasnovas (2003) desenvolveu na Catalunha, Espanha, uma metodologia para a determinação da taxa de desbarrancamento das laterais de voçorocas, assim como o estudo de modelagem de Zinck et al. (2001), com base em tecnologias de sistemas de informações geográficas (SIG), modelagem digital de elevação (DEM) e sensoriamento remoto, como princípio para o cálculo da contribuição na produção de sedimentos. Comparando seus resultados com os obtidos por outros pesquisadores,

Casasnovas (2003) afirmou que a contribuição na produção de sedimentos por voçorocas está longe de ser desprezível, e que apesar dos esforços que tem sido empregado para investigar os processos erosivos nas últimas décadas, relativamente poucos estudos têm sido focados na quantificação e/ ou modelagem de voçorocas.

Posteriormente, Torri et al. (2006) demonstraram que a relação largura do canal com a descarga de fundo aplicada a córregos pode ser aplicada a sulcos e voçorocas. Após alguns ajustes nas fórmulas comumente utilizadas, os autores desenvolveram uma nova metodologia da relação aplicada a estes tipos de erosão. Outros trabalhos como o de Marzloff & Poesen (2009) e Bouchnak et al. (2009) desenvolveram novas metodologias sobre a produção de sedimentos em voçorocas com uso integrado de fotografias aéreas e sistemas de informações geográficas (SIG). No entanto, as Nações Unidas reconhecem (PEART & WALLING, 1988 apud NDOMBA et al., 2009) que dados de medições de campo com métodos diretos do volume do material erodido são mais fáceis, úteis (BERTONI & NETO, 2008) e confiáveis para usos em estimativas de contribuição de produção de sedimentos por voçorocas.

A existência de pouca informação disponível sobre a precisão dos diferentes métodos por medições diretas utilizados na determinação de volume de sulcos e voçorocas no campo foram a base dos estudos realizados por Casalí et al. (2006) para avaliar adequadamente a erosão do solo em áreas agrícolas. Considerando a importância deste tipo de erosão, métodos de medição para determinar com precisão o volume de sulcos e voçorocas efêmeras são obrigatórios. Métodos atuais podem chegar a um erro médio de até 12% segundo os autores.

Por fim, Marzloff & Poesen (2009) concluem que apesar da influência desta classe de erosão na degradação do solo ser de grande relevância, a falta de métodos adequados para a documentação e monitoramento resultou na baixa confiança e escassez de dados quantitativos.

Com o objetivo centrado nos princípios e valores que apontem para a sustentabilidade dos recursos hídricos da Bacia Hidrográfica do Baixo Tietê, este projeto tem o intuito de avaliar e quantificar a contribuição de uma voçoroca no município de Santo Antônio do Aracanguá/SP, para o assoreamento do Ribeirão das Cruzes, tributário da represa de Três Irmãos.

Metodologia:

Para o conhecimento da contribuição da erosão no assoreamento do ribeirão das Cruzes se faz necessário a comparação entre o volume de material perdido pela erosão e o volume de material depositado no leito do ribeirão. O conhecimento da porcentagem do volume do assoreamento referente ao solo perdido pela erosão pode ser usado para análises como: contribuição anual média, contribuição por metro quadrado de bacia hidrográfica e previsões de contribuições futuras.

Quantificação do volume do solo erodido na voçoroca

Levantamento topográfico

A modelação digital do terreno (MDT) a partir da aquisição de dados por levantamento topográfico permite uma análise ambiental mais confiável do ponto de vista da engenharia. As interações entre diversos MDT's permitidas através de relações booleanas de sistemas de informações geográficas (SIG) fornecem dados relevantes para estudos como, por exemplo, perímetros, áreas e volumes, que anteriormente aos SIG's eram de difícil aquisição.

O levantamento topográfico do perfil da voçoroca consiste em determinar a relação dos desníveis e distâncias entre pontos notáveis que melhor representem os traços do desenho da erosão. A partir de um ponto, cujas coordenadas de latitude, longitude e altitude são conhecidas, é possível determinar a localização das três coordenadas para outro ponto qualquer utilizando-se de dados de distância, ângulos azimutais e zenitais, e conceitos de trigonometria. Para tal se fez uso de uma Estação Total (Leica TC 407), a qual se pode comparar a um teodolito digital, que calcula estas relações trigonométricas e as armazena diretamente num banco de dados interno ao aparelho.

Foram quatro as vertentes escolhidas para a coleta dos pontos notáveis na vertical que representarão a voçoroca: as duas margens inferiores, esquerda e direita, em contato com o nível d'água (VIE e VID, respectivamente); e as duas margens superiores, esquerda (VSE) e direita (VSD), na ruptura do talude em erosão com o resto do terreno (Figura 1). Para fins de aperfeiçoar os cálculos empregados na modelagem do terreno, foram coletados pontos nas regiões intermediárias as margens superiores e inferiores, além de pontos nas feições não erodidas do terreno. Os pontos notáveis coletados na horizontal para cada vertente serão ligados de forma a representar estes limites e que, portanto, deverão estar o mais próximo possível em locais de curvatura para representação precisa (Figura 2).

Para fins de cálculo de volume será utilizada a área real do terreno.

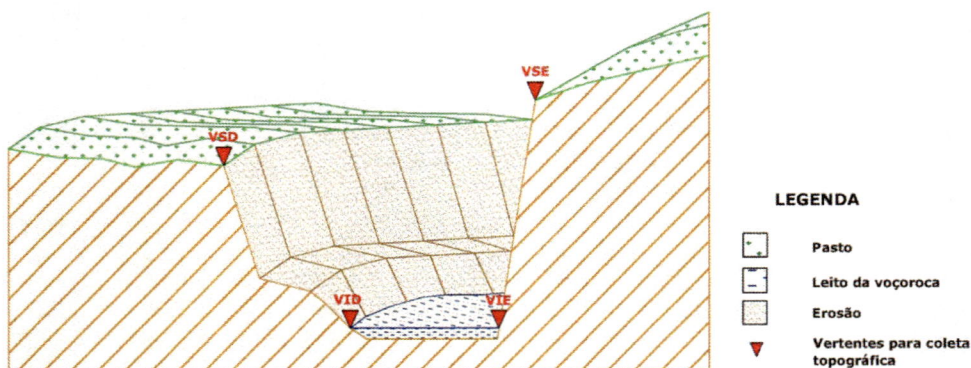


Figura 1: Exemplo de corte transversal de uma voçoroca com as vertentes superiores à direita (VSD) e a esquerda (VSE), e vertentes inferiores à direita (VID) e a esquerda (VIE) para coleta dos pontos notáveis na vertical.

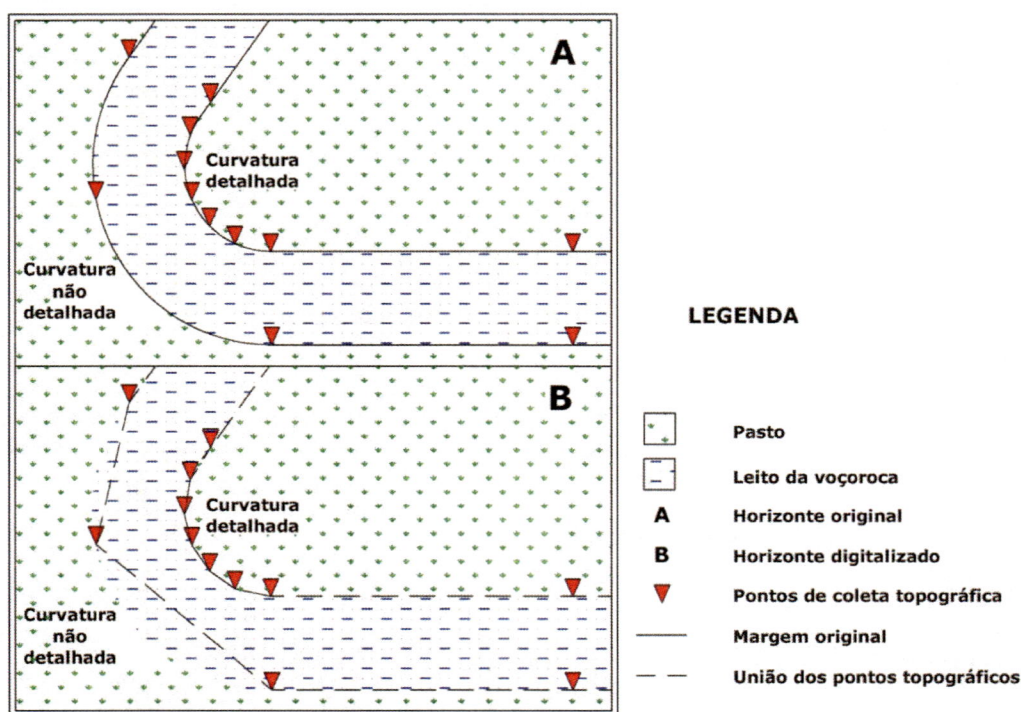


Figura 2: Vista em planta de exemplo de alocação adequada dos pontos notáveis horizontais (curva detalhada) ao longo das vertentes.

Cálculo do solo erodido

A partir da aquisição dos dados referentes às margens superiores, torna-se possível a elaboração do mapa de linhas topográficas e do MDT da feição original do terreno erodido, com o auxílio do software ArcGIS 9.2, desconsiderando a presença da erosão no local. Da mesma forma, mas utilizando todos os pontos coletados, margens superiores, margens inferiores e intermediários, obtém-se o mapa topográfico e o MDT da feição da erosão, totalizando, ao final, dois mapas de elevação do terreno da região.

A subtração dos referidos MDT's através de relações booleanas fornecidas por este software, permite gerar um terceiro mapa, contendo a informação da diferença dos volumes, associado ao valor de solo perdido pela erosão.

Quantificação do volume do assoreamento no Ribeirão das Cruzes entre os anos de 1972 e 2008.

Da mesma forma em que foi calculado o volume de solo perdido pela erosão, será realizada a mesma seqüência de operações para o cálculo do volume assoreado no tributário Ribeirão das Cruzes.

Dados de batimetria para o curso d'água, adquiridos em levantamento de campo realizado em 2008 pelo Núcleo de Hidrometria, do CRHEA/SHS/EESC/USP, em São Carlos (SP), serão transformados em um

modelo digital de terreno e subtraídos, através de operações booleanas do software ArcGIS 9.2, do MDT do terreno original, anterior ao enchimento da barragem da UHE de Três Irmãos, adquirido com a digitalização das cartas topográficas geradas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 1972. O resultado final será o MDT do volume de material depositado no leito do Ribeirão das Cruzes.

Para efeito de comparação entre os volumes de perda e deposição de sólidos, considera-se que todo material particulado proveniente da erosão em estudo ficou retido no represamento do corpo d'água, pois a diminuição drástica da velocidade da água que adentra ao reservatório devido ao aumento da seção transversal corrente ocasionada pelo barramento, causa a queda acentuada ou eliminação da turbulência do fluxo d'água afluente ao reservatório, reduzindo as forças exercidas pela ação do escoamento (MAIA e VILLELA, 2009). Quando estas forças se reduzem até a condição de não poderem continuar a deslocar a partícula, ocorre o processo de deposição (CARVALHO, 2008).

Parâmetros utilizados pelo software ArcGIS 9.2 para elaboração dos mapas.

O ArcGIS 9.2 consiste num software que utiliza ferramentas matemáticas para elaboração de mapas a partir de dados de entrada conhecidos fornecidos pelo usuário. O software ainda permite realizar diversas operações matemáticas, conhecidas como relações booleanas, entre os diversos mapas gerados pelo programa como, soma, subtração, multiplicação e divisão, facilitando suas análises e compreensão pelo usuário.

Os parâmetros utilizados para elaboração dos mapas de assoreamento e erosão da área foram os mesmo para efeito de comparação. Para ambos os casos foram inseridos dados de pontos, referentes as coletas de dados topográficos, batimétricos e de "pontos de máximo" (cumes e picos) na topografia da região, e dados de linhas, referentes as linhas topográficas das cartas do IBGE utilizadas na análise e linhas de representações de estradas, recursos hídricos e margens da voçoroca e represa. Estes dados, contendo as informações de latitude, longitude e altitude foram submetidos a modelagem do terreno utilizando-se a ferramenta de construção de TIN (do inglês, Triangular Irregular Network) que realiza a triangulação entre três pontos conhecidos, fornecidos pelo usuário, transformando-a em uma superfície de espaço conhecido. A união dos diversos triângulos gerados fornece a representação espacial em três dimensões do terreno analisado.

Os softwares de "Sistema de Informação Geográfica - SIG" trabalham com dois tipos de arquivos para construção e análise dos mapas: representação vetorial e matricial. Na estrutura vetorial as informações são armazenadas e representadas por vértices contendo um par de coordenadas, representadas por pontos, linha e polígonos. Na estrutura matricial o terreno é representado por uma matriz de i linhas e j colunas em que cada célula, pixel, contém a informação desejada ao usuário. Para realização das interações booleanas, os SIG's utilizam unicamente as estrutura matricial, realizando os cálculos exigidos comparando dois pixels, cada qual em um mapa, que devem estar exatamente na mesma posição, georreferenciados. Desta forma, para se obter os valores de volume adquirido a partir da subtração de dois mapas, se fez necessário a conversão da estrutura vetorial do TIN em estrutura matricial raster.

Os TIN's gerados a partir dos dados vetoriais de entrada foram convertidos a estrutura matricial considerando pixels de tamanho 1, ou seja, laterais de 1 metro por 1 metro. Desta forma se fez possível a comparação entre os mapas gerados.

Descobertas e Discussões:

A partir do Modelo Digital do Terreno - MDT de 1972 (Anexo 1) gerado a partir das cartas topográficas do IBGE pode-se notar o perfil exato da distribuição das cotas altimétricas, anterior ao enchimento da barragem de Três Irmãos que se deu em novembro de 1993. Considerou-se neste trabalho que as feições do terreno não sofreram modificações entre os anos de 1972 e 1993, pois a inexistência de dados de topografia atualizados para a região, impediu uma análise mais detalhada da região na época do início da inundação para formação da represa.

Outro problema observado está no método de construção do MDT. O modelo de interpolação TIN apresenta erros em regiões representadas por uma única cota como, por exemplo, extremidades de braços de reservatórios aliados a escala dos mapas (1 : 50000) que favorecem a formação destas regiões.

Desta forma, o valor obtido para o volume do MDT gerado não deve ser utilizado como valor absoluto mas sim como valor aproximado.

O valor de volume obtido para a área corresponde ao preenchimento do vazio encontrado entre um plano correspondente a cota 330m, com relação ao ponto mais baixo do mapa gerado. Desta forma, o volume encontrado equivale a $87.671.164,58 \text{ m}^3$ ou aproximadamente $87,67 \text{ hm}^3$.

Para os dados coletados na campanha batimétrica (Anexo 2), finalizada em outubro de 2008, foi empregado o mesmo processo. A partir do MDT criado com os novos valores de profundidade obtidos na campanha (Anexo 3), observa-se os locais de bancos de depósito de sedimentos provenientes da erosão do solo na bacia hidrográfica. O volume encontrado com os mesmos princípios utilizados anteriormente corresponde a $55.375.916,67 \text{ m}^3$ ou aproximadamente $55,38 \text{ hm}^3$.

Nos dois MDT's criados a partir dos dados base, Anexo 1 e Anexo 3, foi realizada uma reclassificação das imagens de forma a melhorar a visualização das áreas afetadas pelo assoreamento. As altitudes foram divididas em 5 categorias variando em 5 metros de altitude cada, com início na cota 310m e término na cota 330m.

Para o cálculo do volume de material depositado no leito do Ribeirão das Cruzes foi empregada a relação booleana de subtração dos MDT's gerados. Desta forma podemos observar o resultado na Anexo 4, a qual contém os principais pontos de assoreamento de acordo com a espessura da camada de depósito, variando, segunda uma reclassificação do mapa, de -10m a 10m.

Realizando a subtração dos valores de volume obtidos para os dois mapas anteriores, chegamos a uma quantificação do volume de material depositado no leito do Ribeirão equivalente a 32.295.247,92 m³ ou aproximadamente 32,30 hm³.

Desta forma, considerando os valores aproximados de 87,67 hm³ para o volume inicial e 32,30 hm³ de perda por assoreamento, encontramos o valor de 36,8% de assoreamento em 15 anos de existência da represa. Este valor distribuído entre os anos de existência da represa fornece uma taxa de assoreamento de 2,46% ao ano. Teixeira (2008) menciona que as médias de assoreamento de reservatórios nacionais e internacionais são de 0,5% ao ano e 1% ao ano respectivamente, ou seja, o valor encontrado para a taxa de assoreamento do Ribeirão das Cruzes é aproximadamente 5 vezes superior a média nacional.

A explicação para altas taxas de assoreamento, descontados os erros associados a coletas e manipulação dos dados já mencionados, estaria no elevado grau de processo erosivo em que se encontra algumas regiões da bacia hidrográfica.

No Anexo 5, podemos observar o Modelo Digital do Terreno de parte da maior voçoroca (aproximadamente 1,5 Km de 3,5 Km de extensão) afluente do Ribeirão das Cruzes, objeto de estudo do presente trabalho.

Realizando o mesmo processo para o cálculo do material depositado no leito do Ribeirão das Cruzes, foram encontrados os valores referentes a quantificação do volume de solo erodido. No Anexo 6 observamos a feição original do terreno erodido, utilizado na relação booleana de subtração com o mapa da voçoroca (Anexo 5).

O volume encontrado para a feição do terreno com a voçoroca foi de 4.987.009,39m³ ou aproximadamente 4,99 hm³. Para a feição do terreno original foi encontrado o volume de 4.904.138,39 m³ ou aproximadamente 4,90 hm³. Desta forma, pode-se afirmar que a pequena parcela da voçoroca, aproximadamente 1,5 Km, levantada pela técnica de topografia contribuiu com aproximadamente 0,09 hm³, equivalente a 0,28% do assoreamento total.

Observações realizadas em campo permite afirmar que a contribuição da voçoroca como um todo, vai muito além da extrapolação linear do valor previamente obtido para a primeira porção em estudo. Desta forma pode se supor que a porcentagem de contribuição com sedimentos para o assoreamento do Ribeirão das Cruzes ultrapassa os 0,65% (0,21 hm³), superando sozinha a taxa média nacional para assoreamento.

Conclusão:

Como considerações finais aos resultados parciais aqui apresentados, estes demonstraram o grau elevado de assoreamento enfrentado pelo Ribeirão das Cruzes, afluente a represa de Três Irmãos, SP. O nível de deposição de sedimento encontrado extrapolou a média nacional e internacional para reservatórios, comprovando a gravidade da situação no local. Com o intuito desenvolver uma pesquisa investigativa sobre a contribuição de uma voçoroca ao agravamento da situação, este trabalho buscou demonstrar o potencial da erosão em sulco para o aporte de sedimentos aos corpos d'água. Dados reais coletados até o momento reafirmaram as conclusões teóricas expostas por outros autores da área de que estes tipos de erosão não devem ser desconsideradas em cálculos e estudos de aporte de sedimentos aos corpos d'água superficiais.

Referências:

BERTONI, J; NETO, F. L. **Conservação do solo**. 6ª Ed., São Paulo: Ícone, 2008. 355p.

BOIN, M.N. (2000). **Chuvas e Erosões no Oeste Paulista: uma análise climatológica aplicada**.

Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP. 264p. Tese de Doutorado.

BOUCHNAK, H.; FELFOUL, M. S.; BOUSSEMA, M. R.; SNANE, M. H. **Slope and rainfall effects on the volume of sediment yield by gully erosion in the Souar lithologic formation (Tunisia).** Catena. Ed. 78. 2009. 170 – 177.

BRAYSHAW, D.; HASSAN, M. A. **Debris flow initiation and sediment recharge in gullies.** Geomorphology, Ed. 109. 2009. 122 – 131.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática.** – 2ª ED., VER., ATUAL. E AMPLIADA. – RIO DE JANEIRO: INTERCIÊNCIA, 2008. 599P.

CASALÍ, J.; LOIZU, J.; CAMPO, M. A.; DE SANTISTEBAN, L. M.; ÁLVAREZ-MOZOS, J. **Accuracy of methods for field assessment of rill and ephemeral gully erosion.** Catena. Ed. 67. 2006. 128 – 138.

CASASNOVA, J. A. M. **A spatial information technology approach for the mapping and quantification of gully erosion.** Catena. Ed. 50. 2003. 293 – 308.

DESCROIX, L.; GONZÁLEZ BARRIOS, J. L.; VIRAMONTES, D.; POULENARD, J.; ANAYA, E.; ESTEVES, M.; ESTRADA, J. **Gully and sheet erosion on subtropical mountain slopes: Their respective roles and the scale effect.** Catena. Ed. 72. 2008. 325 – 339.

FERREIRA, A. B.; SANTOS, C. R.; BRITO, J. L. S., ROSA, R. **Análise comparativa do uso e ocupação do solo na área de influência da Usina Hidrelétrica Capim Branco I a partir de técnicas de geoprocessamento.** – Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 2997-3004.

FUJIHARA, A.K. **Predição de erosão e capacidade de uso do solo numa microbacia do Oeste Paulista com suporte em geoprocessamento.** Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

GUIMARÃES, L. J. R.; SANTOS, L. J. C. **Levantamento das áreas potenciais à erosão laminar como suporte à detecção das áreas-fonte ao assoreamento na barragem Piraquara I.** Revista Eletrônica Geografar. Curitiba, v.2, n.2, p.172-188, jul./dez. 2007 ISSN: 1981-089X

HENRIQUE, C. S. **Regionalização hidrológica de vazões e de cargas difusas de sólidos suspensos totais para o programa ProdutorES de água e o pagamento de serviços ambientais: estudo**

- de caso: bacia hidrográfica do Rio Benevente.** Dissertação – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2009. 188p.
- IDE, D. M. **Investigação geotécnica e estudo de um processo erosivo causado por ocupação urbana.** Dissertação – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2009. 129p.
- LUCENA, M. M. A.; COSTA, D. F. S.; SOUZA, L. A.; ROCHA, R. M. **Contribuição ao estudo do crescimento urbano nas margens do reservatório Comissão (Jardim do Seridó / RN) e seus potenciais impactos no ambiente.** – Anais do VIII Congresso de Ecologia do Brasil, 23 a 28 de Setembro de 2007, Caxambu – MG.
- MANSOR, M. T. C.; FERREIRA, L.; ROSTON, D. M.; TEIXEIRA FILHO, J. **Parâmetro para avaliação do potencial de risco de erosão.** Anais - I Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto. Aracaju/SE, 17 e 18 de outubro de 2002.
- MARZOLFF, I.; POESEN, J. **The potential of 3D gully monitoring with GIS using high-resolution aerial photography and a digital photogrammetry system.** Geomorphology, Ed. 111. 2009. 48 – 60.
- MORAIS, F.; BACELLAR, L. A. P.; SOBREIRA, F. G. **Análise da erodibilidade de saprolitos de gnaiss.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 28, n. 6, 2004.
- NDOMBA, P. M.; MTALO, F.; KILLINGTVEIT, A. **Estimating gully erosion contribution to large catchment sediment yield rate in Tanzânia.** Physics and Chemistry of the Earth. Ed. 34. 2009. 741–748.
- RIJSDIJK, A.; BRUIJNZEEL, L. A. S.; PRINS, T. M. **Sediment yield from gullies, riparian mass wasting and bank erosion in the Upper Konto catchment, East Java, Indonesia.** Geomorphology, Ed. 87. 2007. 38 – 52.
- SILVA, L. C. N.; FERNANDES, A. L. V.; OLIVEIRA, W. **Análise do uso e ocupação do solo na microbacia Dom Tomaz no município de Três Lagoas – MS.** – Anais I Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul: o Eucalipto e o Ciclo Hidrológico, Taubaté, Brasil, 07-09 novembro 2007, IPABHi, p. 325-330.
- SOBRAL, M. C. M.; CARVALHO, R. M. C. M. O.; SILVA, M. M.; MELO, G. L. **Uso e ocupação do solo no entorno de reservatórios no semi-árido brasileiro como fator determinante da qualidade da**

água. XXX Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental 26 al 30 de noviembre de 2006, Punta del Este – Uruguay.

SOUZA, C. F.; DORNELLES, A. M.; ACIOLI, L. A.; MERTEN, G. H. **Comparação dentre estimativas de produção de sedimentos na bacia do rio Potiribu.** In: VII Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos, 2006, Porto Alegre. Anais: VII Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos. Porto Alegre : ABRH, 2006.

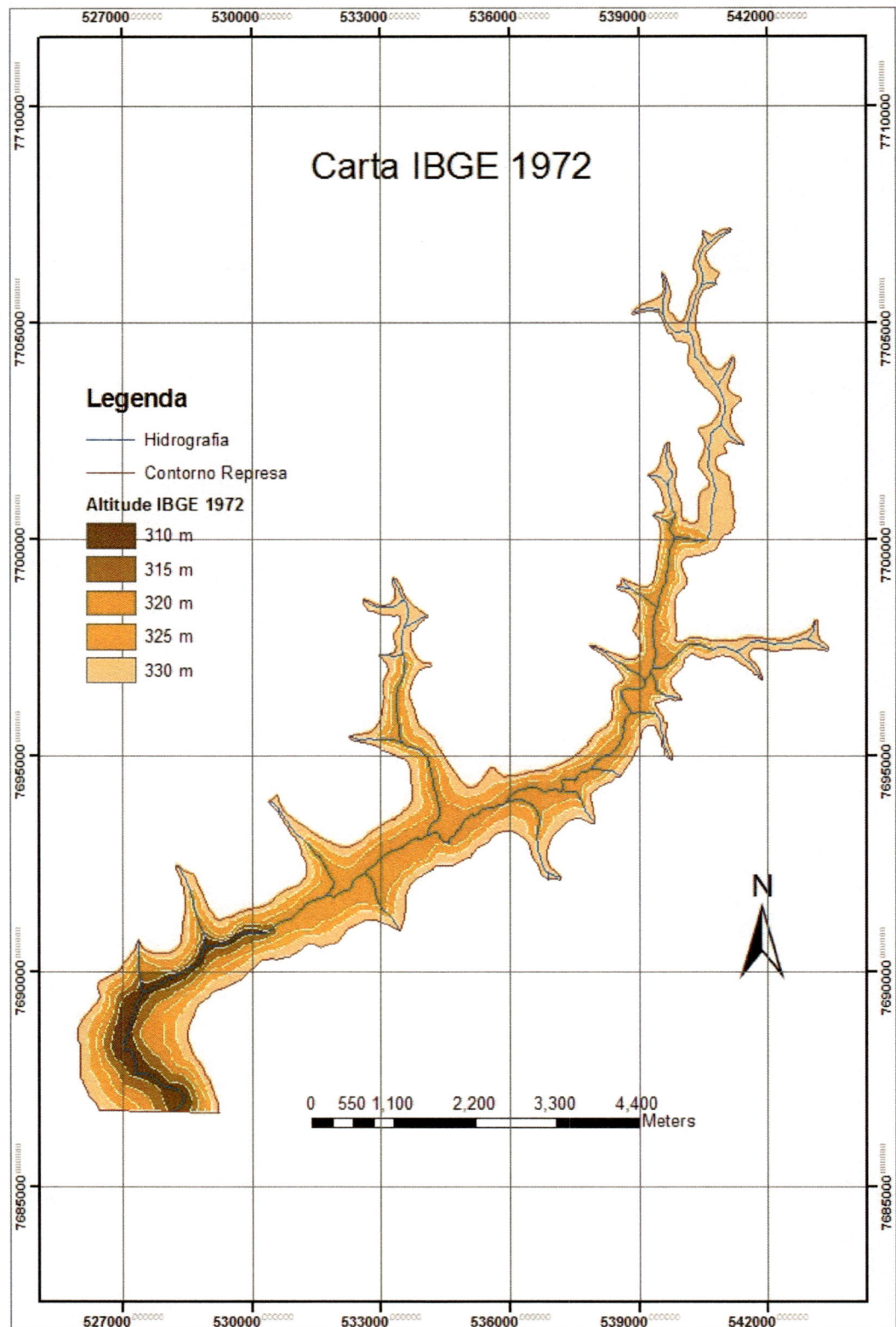
TORRI, D.; POESEN, J.; BORSELLI, L.; KNAPEN, A. **Channel width–flow discharge relationships for rills and gullies.** Geomorphology, Ed. 76. 2006. 273 – 279.

VALÉRIO, A. M.; SILVA, G. B. S.; KAMPEL, M.; STECH, J. L.; ASSIREU, A. T. **Mapa do uso do solo da bacia do reservatório do Manso para o ano de 2007.** – IX Simpósio Nacional Cerrado e II Simpósio Internacional Savanas Tropicais. 12 a 17 de outubro de 2008, Brasília, DF.

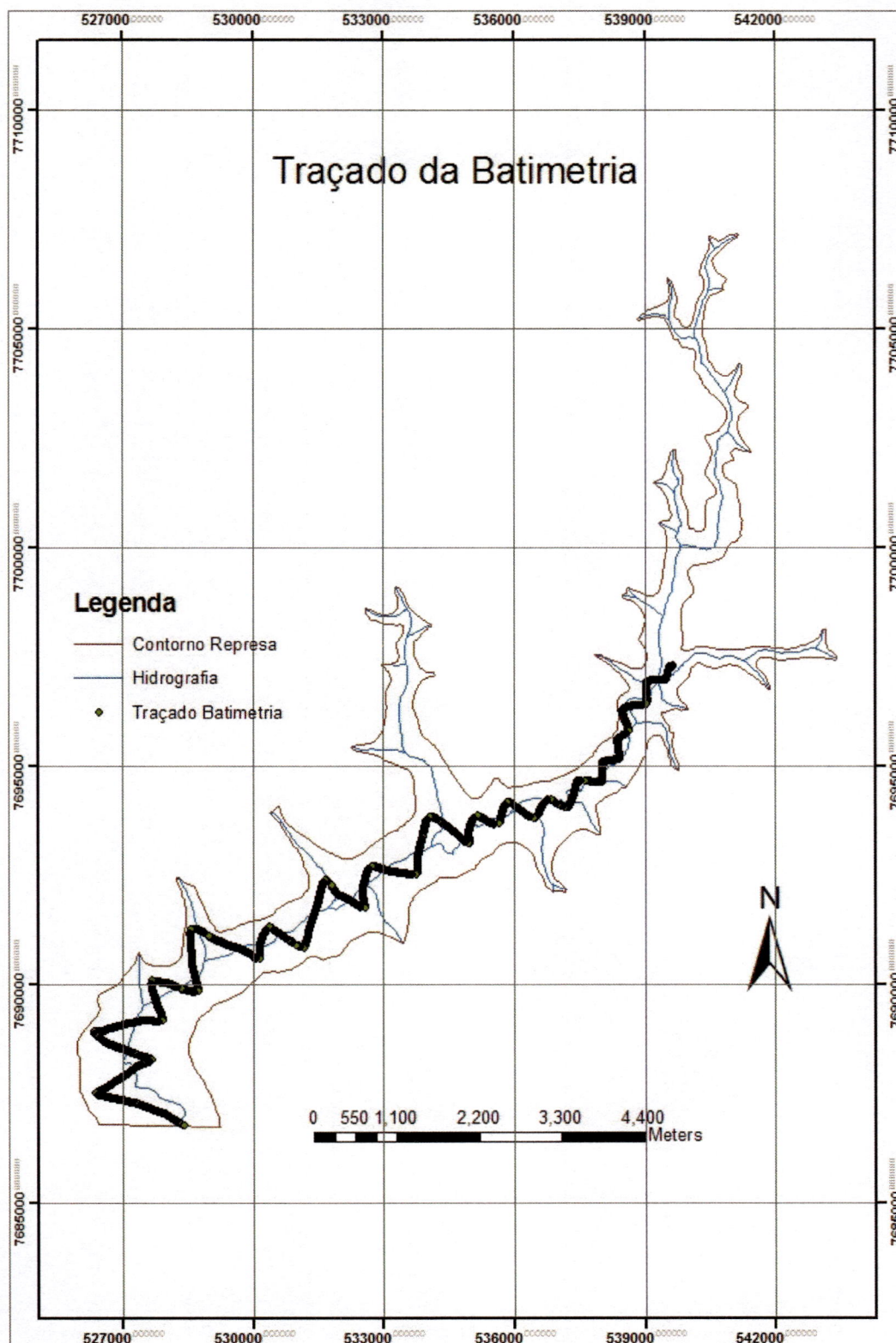
WISHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide planning.** Washington, D.C., USDA, 1978. 58p. (Handbook, 537).

ZINCK, J. A.; LÓPEZ, J.; METTERNICHT, G. I.; SHRESTHA, D. P.; VÁZQUEZ-SELEM, L. **Mapping and modeling mass movements and gullies in mountainous areas using remote sensing and GIS techniques.** JAG. Ed. 3. 2001.

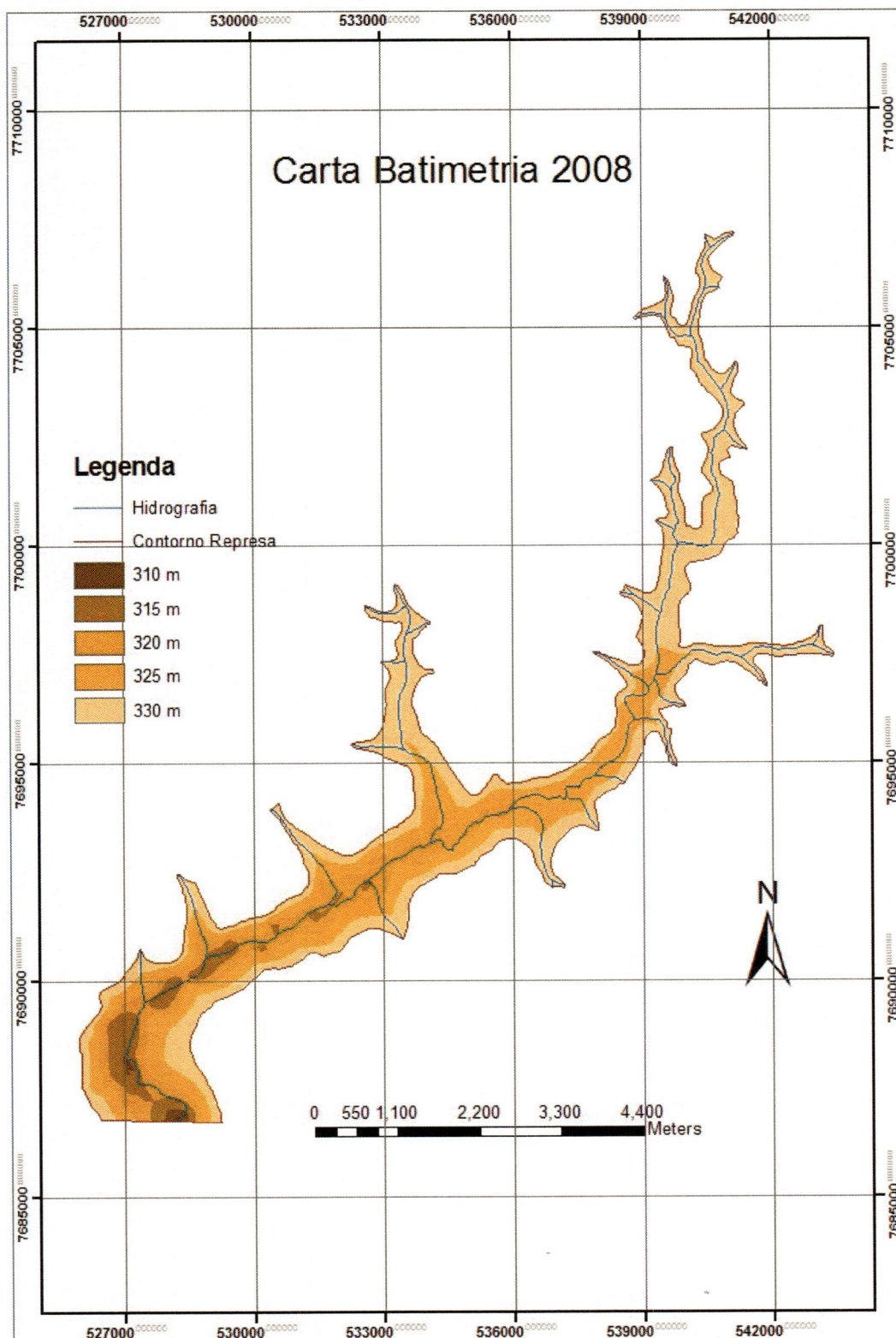
ANEXO 1: Modelo digital do terreno para a área do Ribeirão das Cruzes.



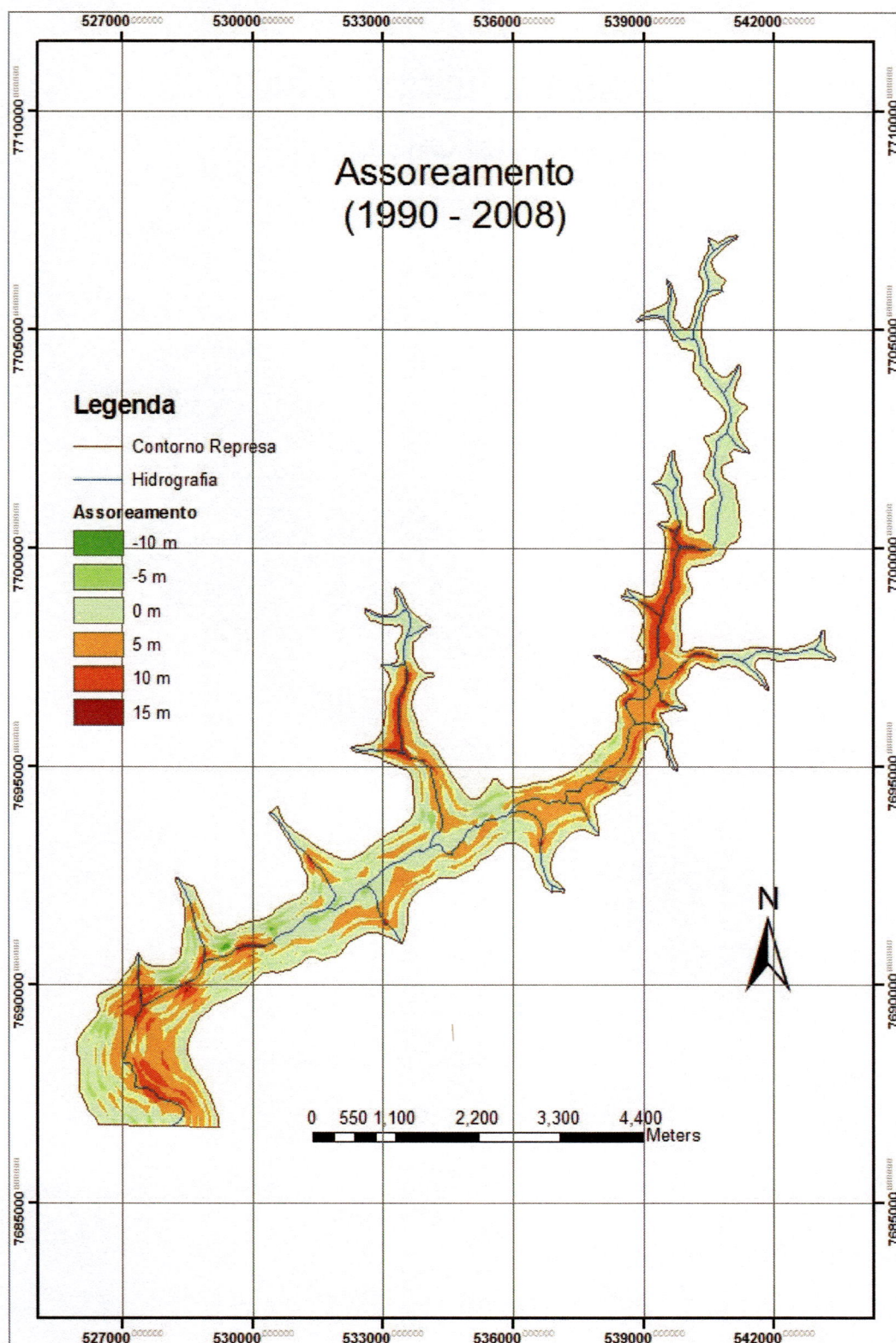
ANEXO 2: Desenho dos traçado percorridos pela campanha batimétrica após o enchimento da barragem.

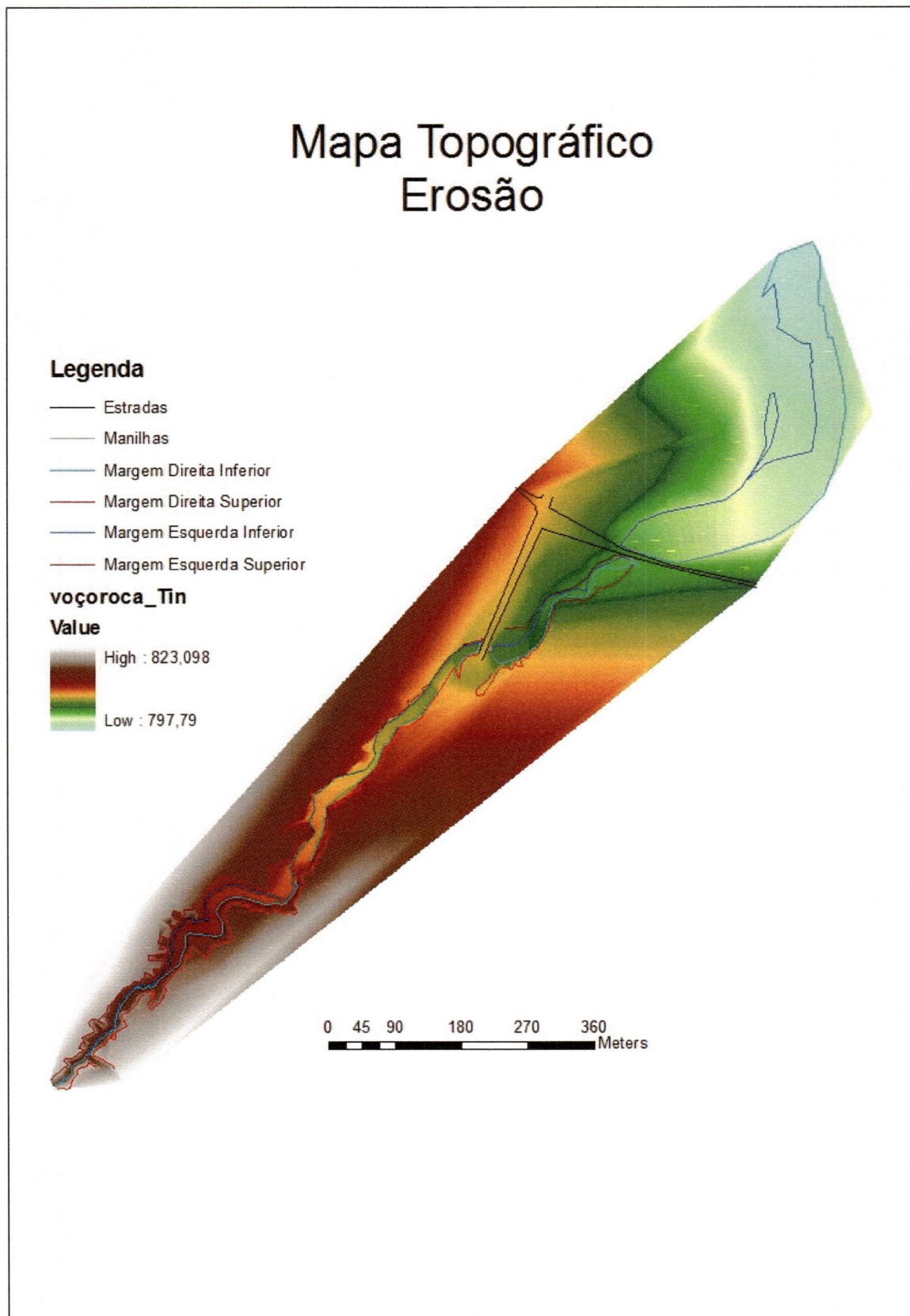


ANEXO 3: Modelo digital do terreno para a batimetria realizada em 2008.



ANEXO 4: Mapa de assoreamento gerado a partir da relação booleana de subtração.





ANEXO 6: Mapa topográfico da feição original do terreno da voçoroca.

