

GEOTECNOLOGIAS APLICADAS À VIRTUALIZAÇÃO DE TERRENO COMO FERRAMENTA PARA A REALIZAÇÃO DE ESTUDOS AMBIENTAIS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS. ESTUDO DE CASO PARA IMPLANTAÇÃO DE UM RESERVATÓRIO NA BACIA DO RIO UNA

Celso de Souza Catelani¹ & Getulio Teixeira Batista²

UNITAU - Universidade de Taubaté Estrada Municipal Dr. José Luiz Cembranelli, 5000 CEP 12.081-010, Taubaté, SP,

Brasil. Telefone +55 3625-4116. Email: cscatelani@agro.unitau.br ; getulio@agro.unitau.br

¹ Aluno do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais de Taubaté. ² Professor do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais de Taubaté.

1. Resumo

A necessidade de realização de estudos ambientais para a implantação de empreendimentos de porte significativo em bacias hidrográficas, em especial a construção de barramentos, quando implementados por métodos convencionais demandam grande esforço de levantamentos de campo para se obter informações básicas tais como a área de inundação, cota máxima da lâmina d'água, faixa de segurança e capacidade de armazenamento, além dos diversos usos da terra a serem impactados pelo empreendimento. Nesse contexto, o estado da arte das ferramentas de geotecnologia, permitem hoje a elaboração de estudos compostos por elementos tridimensionais capazes de reproduzir em ambiente computacional a virtualização do terreno nos locais selecionados para a implantação destes empreendimentos, e, a partir desses dados obter mensurações importantes para a concepção e elaboração de projetos que contemplem uma avaliação ambiental pautada na situação de fato e com vistas à minimização dos impactos a serem mitigados após a implantação. Assim, este trabalho realizado na escala de 1:10.000 permitiu pela sobreposição de camadas de informações 2D e 3D, reproduzir as condições do terreno e da cobertura do solo na área sujeita à inundação pela construção de uma barragem na sub bacia do Pouso Frio, afluente do Rio Una, permitindo conhecer a área a ser ocupada pela lâmina d'água e os eventuais impactos sobre o uso do solo a ser tomado pelas águas quando houver o enchimento do reservatório.

Palavras chave: geoprocessamento, reservatórios, impactos ambientais, simulação

2. Introdução

A crescente demanda por estudos de diagnóstico e caracterização de bacias hidrográficas no trecho paulista do Vale do Paraíba, em razão da preservação dos recursos hídricos hoje, já em crise para o abastecimento da região (REBOUÇAS, BRAGA e TUNDIZI, 1999), pode atualmente se valer do estado da arte dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG), na geração de produtos e informações de base armazenadas em bancos de dados ambientais, (BATISTA et al., 2005), que se constituem como extremamente úteis para a elaboração de projetos como por exemplo, na mensuração de possíveis impactos ambientais sobre as áreas em que se pretende construir reservatórios, tais como os apresentados em audiência pública no município de Taubaté, SP. Nesse contexto, o uso de técnica tridimensionais permite a virtualização do terreno com simulação do enchimento do reservatório e seus impactos diretos à área do lago a ser formado após o enchimento do reservatório.

A bacia hidrográfica do Rio Una, que figura atualmente dentre as bacias de maior prioridade na implantação de projetos voltados à recuperação e preservação dos recursos hídricos no Estado de São Paulo (CPTI, 2000), em que na década de 1960 foram realizados estudos para a construção de pequenas barragens com a finalidade de controle do fluxo do Rio Una e abastecimento público do município de Taubaté (DAEE, 1964), apresenta dentre os reservatórios previstos, um que seria construído na sub bacia do Pouso Frio, situado a aproximadamente 20 km da sede do município e que em razão da sua localização foi selecionado para a realização deste trabalho, focado na virtualização do terreno em ambiente computacional, com base nos Softwares SPRING – Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (CÂMARA, et al., 1996), e GRASS -Geographic Resources Analysis Support System (US. Army, 1993).

Assim, a reprodução por computação gráfica das condições topográficas com fortes contrastes no local, das restrições no que se refere às Áreas de Preservação Permanente APPs, previstas no Código Florestal (BRASIL, 1965), e Resoluções CONAMA 302 e 303/2002, além da cobertura do solo (BATISTA et, al. 2005), na área de estudo permitiu criar uma a simulação das condições do

reservatório cheio e a mensuração preditiva de seus impactos diretos na área de abrangência da lâmina d'água a ser formada quando da finalização da obra, os resultados obtidos podem subsidiar os esforços de minimização dos impactos a ocorrerem na implantação do empreendimento, bem como, no planejamento de mitigação desses impactos.

3. Materiais e métodos

3.1 Área de estudo

A sub bacia do Pouso Frio (Figura 1), situa-se no município de Taubaté, na região do Vale do Paraíba, na encosta da Serra do Mar, na região leste do Estado de São Paulo. Os solos encontrados na bacia, de acordo com Oliveira et al. (1999) são principalmente o Latossolo vermelho-amarelo (distrófico), Argissolos vermelho-amarelo (distrófico), Gleissolos malânicos, Gleis húmicos e Hidromórficos cinzentos. A cobertura florestal remanescente é formada conforme RadamBrasil (1985), por Floresta ombrófila densa e Floresta estacional semidecidual.

O clima de acordo com Fisch (1995) apresenta verão chuvoso com 42% do total da precipitação anual, e inverno seco, com apenas 7%. A precipitação é de 1.335 mm e o ano hidrológico tem início em agosto e término em julho. Pela classificação de Köeppen o clima é do tipo Cwa, clima úmido, com verões quentes e invernos com temperatura média de 18°C.

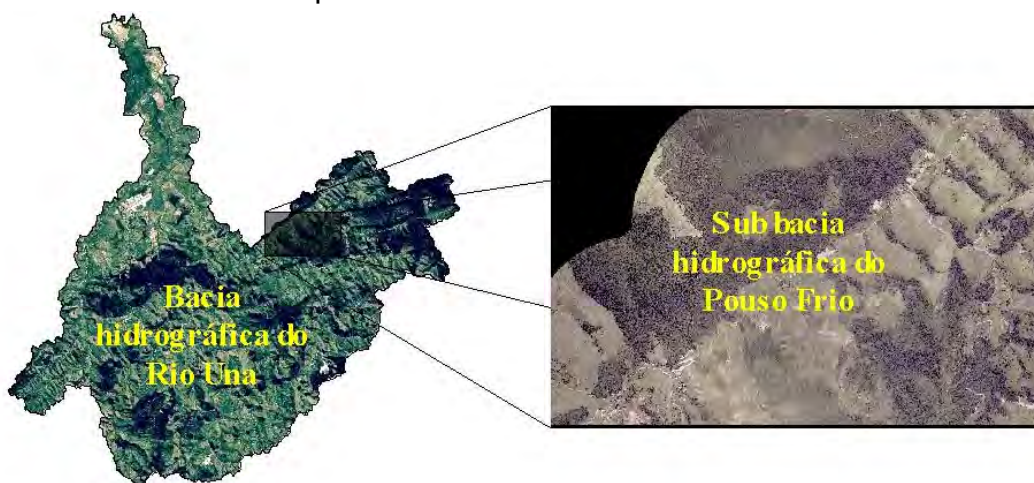


Figura 1. Localização da área de estudo em relação à Bacia Hidrográfica do Rio Una

3.2 Tratamento Prévio dos Dados de Base

A utilização de um SIG (Sistema de Informações Geográficas) para efetuar a virtualização do terreno requer o tratamento prévio de camadas de informações geográficas contendo os dados topográficos de planimetria e altimetria, essas informações foram inseridas no banco de dados por meio da vetorização de cartas topográficas na escala de 1:10.000, contendo as curvas de nível com equidistância vertical de 5m e a respectiva rede de drenagem. Estes dados foram processados, para se gerar uma grade triangular TIN (Triangular Irregular Network), utilizando-se a rede de drenagem correspondente como linhas de quebra permitindo a adequada indicação dos talvegues. A partir da grade triangular resultante, foi gerada uma grade regular com resolução espacial de 5m, que assegura uma coordenada 3D a cada célula de 25m², caracterizando assim o MDT (Modelo Digital do Terreno) de toda a área de estudo. A partir do MDT, foi possível gerar o limite da mancha de inundação com uso do módulo de geração de isolinhas partindo da informação da cota máxima de operação do projeto para o enchimento do reservatório. A partir da isolinha foi conhecido o formato e traçado do lago a ser formado após a conclusão da obra.

3.2.1 Importação de dados do Projeto UNA

Para a análise de impactos diretos na simulação do reservatório foram utilizados como referência os dados de caracterização ambiental da Bacia do Rio Una (Estruturação e Disponibilização do Banco de Dados Ambientais da Bacia do Rio Una, Bacia do Rio Paraíba do Sul), (BATISTA et al., 2005), as duas camadas de informações ambientais, Uso do Solo, mapeado na escala de 1:25.000 e Mapeamento de APPs, na escala de 1:10.000 (Figuras 2 e 3), foram incorporadas no banco de dados criado no software SPRING v.4.3, (um SIG completo que reúne funções de geoprocessamento e sensoriamento remoto), em formato matricial, e, foram recortados pelo polígono correspondente à mancha de inundação para permitir a realização de cruzamentos dos dados geográficos da área específica da lâmina d'água do reservatório após a conclusão da obra.

Desta mesma base de dados foi utilizado um recorte do mosaico

aerofotogramétrico ortorretificado com resolução espacial de 2,4 metros por pixel, baseado num vôo na escala de 1:30.000, realizado em janeiro de 2003, ortorretificado com classificação cartográfica de precisão na categoria A, o qual foi utilizado como textura para a visualização das feições de uso e ocupação do solo da área de estudo.

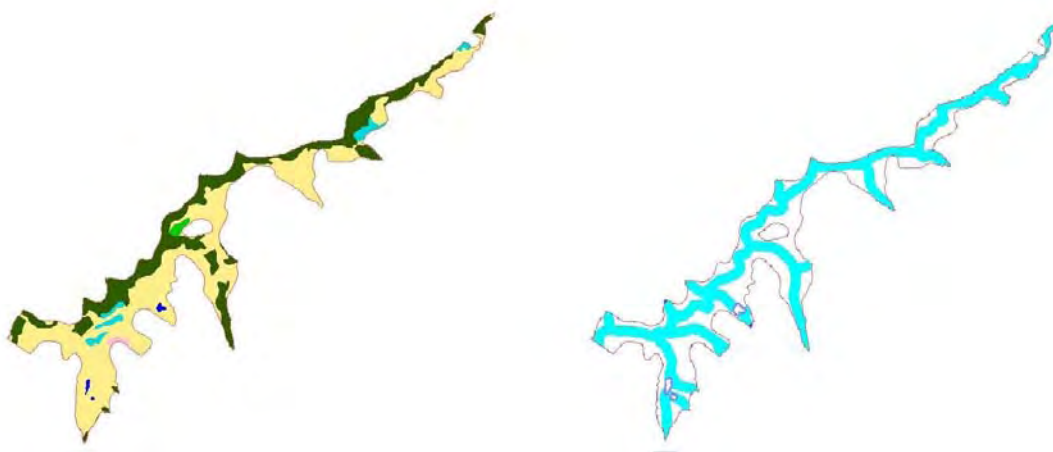


Figura 2. Mapa de Uso do Solo recortado Figura 3. Mapa de APPs recortado pelo polígono correspondente à mancha de polígono correspondente à mancha de inundação inundação

3.3 Integração das camadas de informações geográficas no Software GRASS

Após a preparação dos dados de base com o uso do SPRING, os dados foram exportados nos formatos Geotiff e Shape file, respectivamente, e foram importados para o GRASS através de funções específicas para cada formato de arquivo.

Uma vez incorporado ao software GRASS, iniciou-se a simulação do relevo e do reservatório sob a camada de textura do mosaico ortorretificado, com uso do módulo NVIZ, que possui funcionalidades de visualização de elementos tridimensionais e permite observar em ambiente computacional em vários ângulos e altitudes o reservatório virtual.

4. Resultados e discussão

4.1 Virtualização do Terreno e Simulação da Mancha de Inundação do Reservatório

Os resultados obtidos pela incorporação dos dados do modelo digital do

terreno MDT ao GRASS, manipulados pelo uso do módulo NVIZ, geraram um conjunto de imagens tridimensionais que permitem observar o aspecto volumétrico de toda a área de intervenção, e fornecem a noção exata do comportamento do reservatório em relação ao relevo local, e, permite conhecer o traçado que a borda da lâmina d'agua atingirá no terreno quando da realização de fato da obra, complementada pela texturização real do mosaico aerofotogramétrico ortorretificado do local.

Como resultado, as principais imagens de impacto visual da simulação digital do reservatório estão dispostas nas figuras 4 a 8.

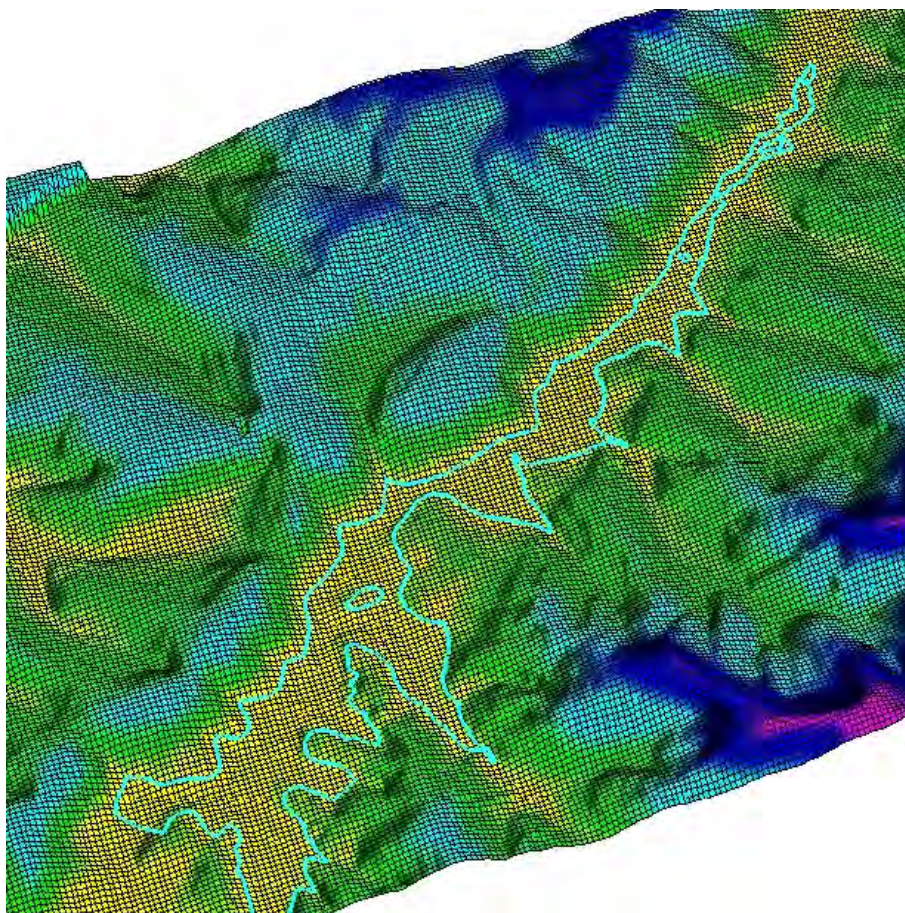


Figura 4. Visão perpendicular a uma altitude de 17.000 metros, imagem com wireframe e gradiente altimétrico colorido, em ciano, o limite da lâmina d'agua do reservatório

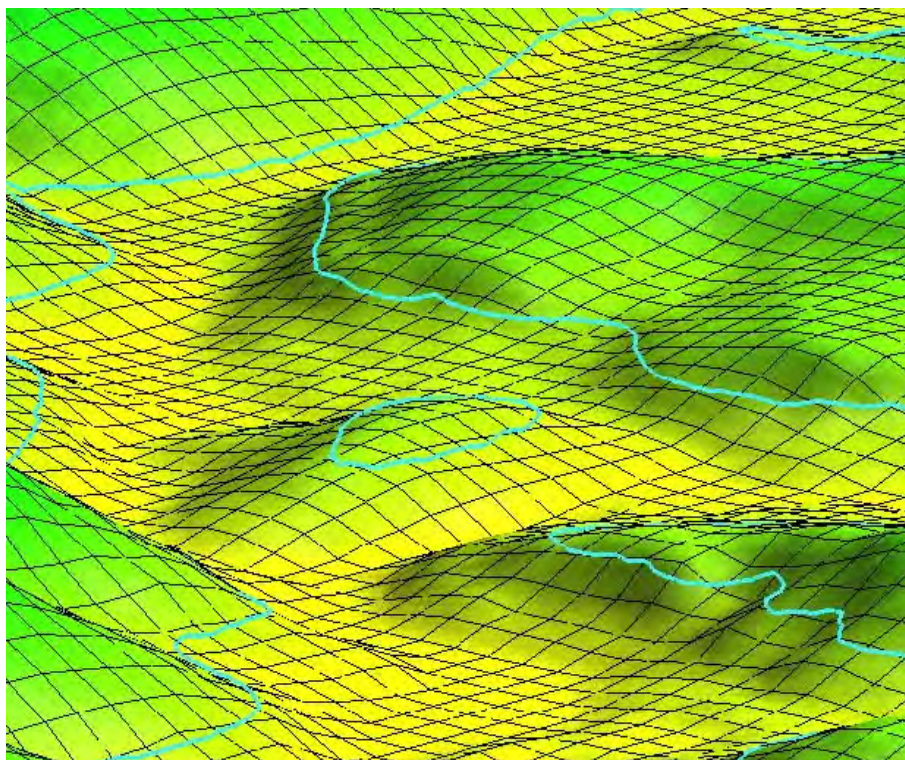


Figura 5. Detalhe do local onde se formará uma ilha após o enchimento virtual do reservatório

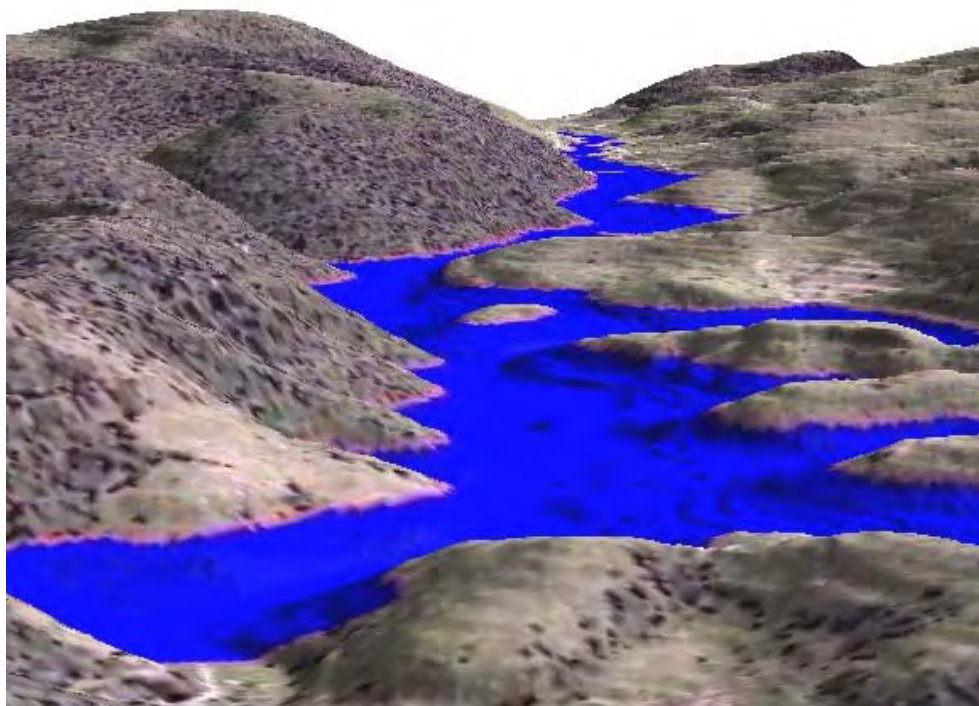


Figura 6. Visão oblíqua a uma altitude de 1.000 metros, imagem com textura do mosaico aerofotogramétrico ortorretificado e a lâmina d'água do reservatório

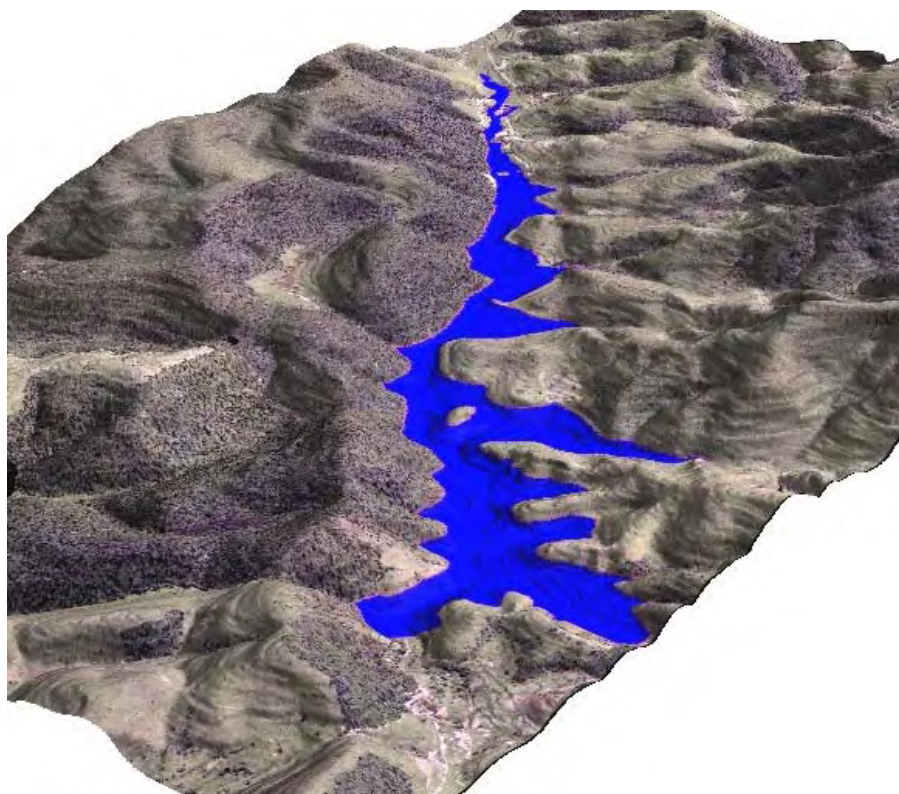


Figura 7. Visão geral do reservatório tomada a uma altitude de 4.600 metros, nota-se o relevo fortemente movimentado e a predominância de cobertura florestal na margem direita

A visão geral do reservatório permite por si só vários questionamentos de ordem ambiental e logística, dentre eles, a nítida percepção da sinuosidade da borda do reservatório na margem esquerda e a extensa cobertura florestal da margem direita inferem um problema a ser equacionado, como prover vias de acesso às populações circunvizinhas após o enchimento?

Outra pergunta que salta à visão da lâmina d'agua é em relação ao uso e ocupação da borda após o término da implantação, qual a área a ser ocupada pela APP de margens de reservatórios desse porte? E ainda, como disciplinar a ocupação das bordas?

4.2 Impactos diretos mensurados por simulação

4.2.1 Impactos ao uso e ocupação do solo

Os dados de uso do e ocupação do solo obtidos do Projeto Una (Estruturação e Diponibilização do Banco de Dados Ambientais da Bacia do Rio Una, Bacia do Rio Paraíba do Sul), na área a ser submersa nos permitiu através

de técnicas de cruzamento de dados geográficos por tabulação cruzada de elementos matriciais, conhecer os impactos diretos da implementação do reservatório.

Os resultados obtidos dos impactos diretos ao uso e ocupação do solo na área do empreendimento estão dispostos na Figura 9 e Tabela 1.

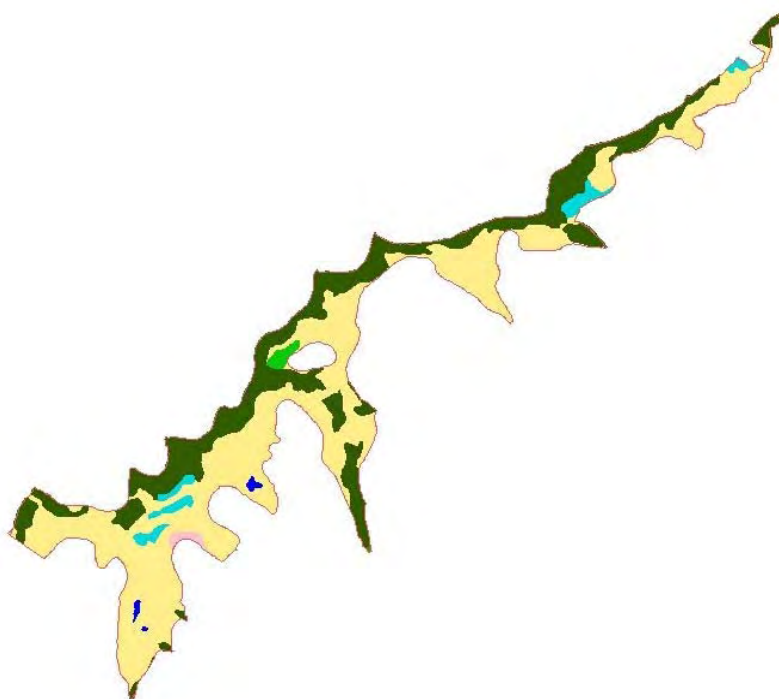









Figura 9. Recorte sem escala do mapa de uso e cobertura do solo oriundo do Projeto Una, recortado pelo limite da mancha de inundação do reservatório

TABELA 1. ÁREA DIRETAMENTE IMPACTADA PELO ENCHIMENTO DO RESERVATÓRIO, E SUAS RESPECTIVAS CLASSES DE USO E COBERTURA DO SOLO, EXPRESSOS EM HECTARES E PORCENTAGEM

Classes de Uso do Solo		Área em hectares	Área em porcentagem
	Mata ou capoeira	26,39	34,07
	Pasto	47,07	60,77
	Reflorestamento	0,61	0,79
	Solo exposto	2,44	3,15
	Pasto sujo	0,04	0,05
	Pasto degradado	0,55	0,71
	Corpos d'água	0,36	0,46
Total		77,45	100,00

4.2.2 Impactos às Áreas de Preservação Permanente (APPs)

O cruzamento da área da lâmina d'água com os dados do mapa de APPs obtido do Projeto Una (Estruturação e Disponibilização do Banco de Dados Ambientais da Bacia do Rio Una, Bacia do Rio Paraíba do Sul), na área a ser submersa nos permitiu também conhecer os impactos diretos da implementação do reservatório nas áreas especialmente protegidas por Lei.

Os resultados obtidos dos impactos diretos às APPs na área do empreendimento estão dispostos na Figura 10 e Tabela 2.

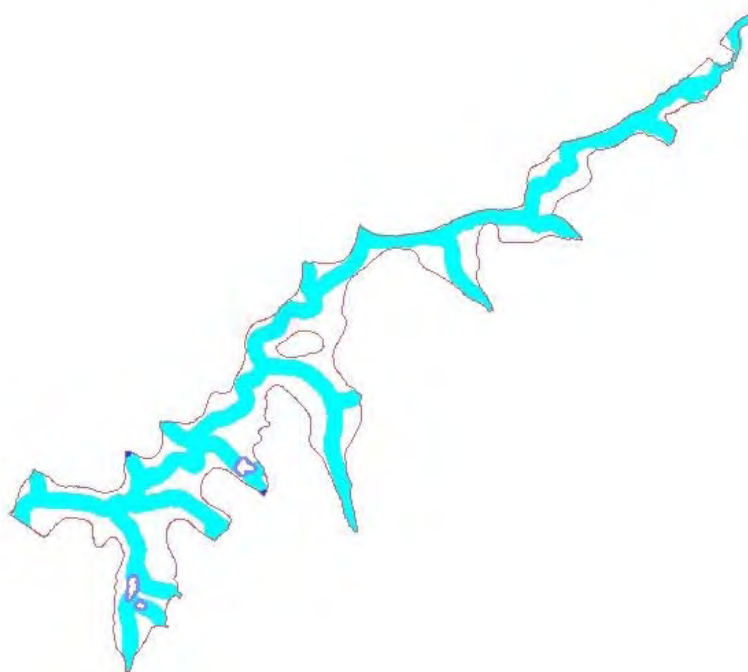


Figura 10. Recorte sem escala do mapa de APPs oriundo do Projeto Una, recortado pelo limite da mancha de inundação do reservatório

TABELA 2. ÁREA DIRETAMENTE IMPACTADA PELO ENCHIMENTO DO RESERVATÓRIO, E SUAS RESPECTIVAS CLASSES DE APPs, EXPRESSOS EM HECTARES E PORCENTAGEM

	Classes de APP	Área em hectares	Área %
	Margem de Rios (30 metros)	43,28	55,88
	Margem de Lagos, Lagoas e Represas	0,84	1,08
	Nascentes	0,10	0,13
	Total	44,22	57,09

5. Considerações finais

Os resultados obtidos neste trabalho demonstram de modo prático e direto a conformação exata de um empreendimento de médio porte, funcionando como elemento preditivo dos benefícios e dos problemas a serem equacionados na implementação física do projeto.

As imagens geradas com os elementos tridimensionais acrescidos da cobertura real e da lâmina d'água reproduzem as condições de realidade virtual capazes de simular em imagens uma visita a locais específicos num reservatório ainda não existente.

A partir da visão geral pode-se analisar os potenciais de balneabilidade do futuro reservatório.

Do levantamento prévio dos impactos diretos é possível planejar os trabalhos de remoção e realocação da população afetada, a mitigação dos impactos, a atenuação dos impactos na construção, bem como a construção das vias de acesso que servirão às populações circunvizinhas.

6. REFERÊNCIAS

- BATISTA, G. T.; TARGA, M. S.; DIAS, N. W.; CATELANI, C. S. . **MODELO DE BANCO DE DADOS AMBIENTAIS GEORREFERENCIADOS VOLTADO À RECUPERAÇÃO E PRESERVAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS DE UMA BACIA DE MÉDIO PORTE, O MODELO DA BACIA DO RIO UNA, PARAIBA DO SUL, SP** (P. 1-16).. In: XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2005, João Pessoa, PB. Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Rio de Janeiro : ABRH, 2005. v. 1.
- BRASIL. Lei Federal No 4.771, de 15 de setembro de 1965 (Institui o Novo Código Florestal Brasileiro), 1965.
- CÂMARA G., Souza R.C.M., Freitas U.M., Garrido J. "SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling". **Computers & Graphics**, 20: (3) 395-403, May-Jun 1996.
- CONAMA, Resolução Nº 303 de 20 de março de 2002. Dispõe sobre Parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente, 2002.
- CPTI – Cooperativa de Serviços, Pesquisas Tecnológicas e Industriais. **Plano das Bacias Hidrográficas do Rio Paraíba do Sul 200-2003**. São Paulo: CPTI, 2001. CD-ROM.
- FISCH, G. Caracterização climática e balanço hídrico de Taubaté (S.P). **Revista Biociências** , v. 1,n.1, p. 81-90 , 1995.

- OLIVEIRA, J.B.; CAMARGO, M.N.; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO, B.- **Mapa Pedológico do Estado de São Paulo**: Legenda Expandida – Campinas: Instituto Agrônômico; Rio de Janeiro: Embrapa – Solos,1999. 64p.
- RADAMBRASIL, Folhas S.F 23/24. Rio de Janeiro/Vitória. Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra , Rio de Janeiro, vol.32, p.780, 6 mapas (Levantamento de Recursos Naturais – 32), 1985.
- REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. São Paulo: Escrituras, 1999. 717 p.
- U.S. Army. **GRASS4.1 Reference Manual**. U.S. Army Corps of Engineers, Construction Engineering Research Laboratories, Champaign, Illinois.1993.

COMO CITAR ESSE ARTIGO

Catelani, C. S.; Batista, G. T. 2006. **Geotecnologias aplicadas à virtualização de terreno como ferramenta para a realização de estudos ambientais em bacias hidrográficas. estudo de caso para implantação de um reservatório na bacia do Rio Una**. Artigo apresentado no PRIMEIRO SEMINÁRIO DE SENSORIAMENTO REMOTO E GEOPROCESSAMENTO PARA ESTUDOS AMBIENTAIS NO VALE DO PARAÍBA - GEOVAP 2006, 07 de dezembro, Universidade de Taubaté, Taubaté, São Paulo, Brasil. Disponível em <http://www.agro.unitau.br/soac/viewabstract.php?id=27&cf=1> - Página 77-88.