

**AVALIAÇÃO DE ALTERNATIVAS LOCACIONAIS DE DUTOS
TERRESTRES ATRAVÉS DA ANÁLISE DE MODELOS DIGITAIS DE
ELEVAÇÃO DERIVADOS DO SRTM**

Guilherme Vendramini Pereira

Orientadora: Prof^{ta}. Dra. Noris Diniz



Faixa de implantação do gasoduto GASTAU

Avaliação de Alternativas Locacionais de Dutos Terrestres Através da Análise de Modelos Digitais de Elevação derivados do SRTM.

I – INTRODUÇÃO

A execução de projetos e obras de infraestrutura que apresentem potencial ou efetivo impacto ambiental, deverá, segundo a legislação brasileira, serem submetidos a processos de licenciamento ambiental. Trata-se de processo administrativo que orienta e autoriza as ações impactantes ao meio ambiente e será executado pelo órgão ambiental competente, pertencente ao SISNAMA – Sistema Nacional de Meio Ambiente, como previsto na Resolução CONAMA nº 001/86.

O licenciamento ambiental é instrumento fundamental para a gestão dos recursos naturais, devendo ser, a partir de estudos ambientais específicos, capaz de identificar a área de influencia dos impactos e a significância destes sobre os ecossistemas e as comunidades humanas associadas direta ou indiretamente ao empreendimento que se licencia. Também fazem parte do processo de licenciamento ambiental a execução de programas ambientais que tem como função mitigar os impactos em seus diversos aspectos, sejam físicos, bióticos ou socioeconômicos.

Nesse contexto, cabe ao órgão ambiental licenciador, definir quais os estudos necessários para compor os relatórios que serão submetidos à apreciação técnica, como subsídio indispensável à emissão da licença ambiental. O Termo de Referência – TR é o documento emitido ao início do processo de licenciamento ambiental, que instruirá o empreendedor na realização e apresentação dos estudos ambientais

As tecnologias de Processamento Digital de Imagens – PDI e Sistemas de Informações Geográficas – SIG, são ferramentas indispensáveis para um diagnóstico ambiental confiável, sendo amplamente utilizadas para a identificação e mapeamento de aspectos ambientais que possam ser relevantes para o licenciamento ambiental de todos os modelos de obras de infraestrutura. Entre as possibilidades de uso, destaca-se o apoio à tomada de decisão quanto à definição da locação do próprio empreendimento, de acordo com a vulnerabilidade ambiental da área de inserção.

Segundo Xavier (2010), as avaliações que tem o suporte em SIG diminuem consideravelmente o nível de subjetividade do processo de decisão do empreendedor,

facilitando em muito o trabalho dos analistas ambientais porque viabiliza uma visão integrada de temas.

Para o diagnóstico dos aspectos do meio físico, especialmente os relacionados às características do solo, hidrografia e relevo, faz-se necessária uma análise integrada desses componentes, portanto, a integração dos dados em plataformas SIG.

2 - OBJETIVOS

O presente trabalho tem por objetivo avaliar a utilização de métodos e técnicas de geoprocessamento e suas aplicações em processos de licenciamento ambiental, especialmente na fase de estudos de alternativas de traçados para empreendimentos lineares - dutos. Com o resultado desta análise, pretende-se formular sugestões de conteúdos a serem incorporados aos Termos de Referência específicos para a realização de estudos ambientais.

Dos diversos temas que devem ser verificados durante a execução dos estudos de alternativas de traçados, a geomorfologia da área de inserção do empreendimento pode ser avaliada em seus diversos aspectos, tais como: declividade, forma e direção das vertentes, por serem fatores de acentuada importância para a análise geoambiental.

O aspecto da declividade, que será o foco desse trabalho, guarda em si uma acentuada importância, não apenas pelos efeitos negativos sobre os riscos de desencadeamento de processos erosivos, mas também pela limitação dos métodos construtivos desses empreendimentos.

2.1 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Pretende-se analisar a viabilidade do uso de informações geoambientais provenientes do projeto SRTM, existentes para todo o território nacional, e disponibilizadas através de projeto TOPODATA - INPE, de forma a sistematizar um procedimento próprio a ser utilizado no âmbito da Diretoria de Licenciamento Ambiental, especialmente para apoio na tomada de decisão quanto à adequabilidade da locação de projetos de expansão da malha dutoviária nacional.

3 - JUSTIFICATIVAS

Os impactos ambientais e socioeconômicos gerados a partir de obras de dutos podem ser diversos: erosão e movimentos de massa, alterações na qualidade da água e assoreamento de corpos d'água, risco de incêndio e morte devido a acidentes, danos sobre

obras de infra-estrutura (estradas vicinais), além de impacto direto sobre a biota que é dependente das áreas contínuas de cobertura vegetal (matas de galeria).

A análise de **alternativas locacionais** é considerada o critério primordial para a definição da diretriz dos dutos e, dessa forma, minimizar os riscos ambientais nas fases de instalação e operação.

Sendo assim, cabe ao empreendedor e, por atribuição legal ao IBAMA, verificarem as melhores alternativas que atendam às necessidades técnicas de montagem dos dutos de forma a assegurar a viabilidade ambiental das instalações.

A utilização dos dados derivados do SRTM pode apresentar razoável confiabilidade para a análise do relevo e dos aspectos morfométricos associados, podendo ser processados de forma integrada aos aspectos geológicos, pedológicos, hidrográficos e cobertura vegetal.

4 - LICENCIAMENTO AMBIENTAL DE EMPREENDIMENTOS LINEARES – DUTOS

O licenciamento ambiental tem o caráter autorizativo, na medida em que emite as licenças necessárias à construção e operação de empreendimentos potencialmente poluidores. Também é certo que possui um caráter fiscalizatório, pois seus atos autorizativos são, via de regra, acompanhados de condicionantes às quais o empreendedor deve atender, caso contrário estaria sujeito às penalidades cabíveis, incluindo-se o cancelamento da sua licença ambiental. Cabe, portanto, ao órgão ambiental o efetivo acompanhamento e monitoramento de tais empreendimentos, pelo tempo em que operarem.

Por outro lado, a participação do órgão licenciador não tem sido apenas no julgamento dos projetos, pois não é incomum a adaptação ou mudança de projetos submetidos ao licenciamento ambiental em virtude da orientação técnica dos analistas dos órgãos ambientais, não se resumindo tais orientações apenas à atenção aos preceitos legais.

Essa premissa pode ser compreendida como uma divisão de responsabilidades entre os empreendedores responsáveis pela construção e operação e o órgão ambiental licenciador, o que na prática verifica-se como um planejamento e gestão ambiental compartilhados.

Em função desses fatos é que se verifica uma participação efetiva do órgão ambiental na definição dos projetos e, sendo assim, para o caso de instalação de dutovias

faz-se necessário no âmbito do órgão ambiental, um aperfeiçoamento dos procedimentos de análise prévia dos projetos submetidos, com o intuito de consolidar a proposta de traçado apresentada pelo empreendedor.

5 - ÁREA DE ESTUDO

Nesse trabalho optou-se pela definição de uma área modelo na qual já exista um duto instalado e que, para fins validação das técnicas de geoprocessamento, contenha um razoável acervo de informações geoambientais. Necessariamente, a escolha foi feita considerando que a área transposta pelo duto apresente características de relevo acentuadas, do ponto de vista da dificuldade construtiva.

O gasoduto Caraguatatuba-Taubaté (GASTAU) foi construído pela PETROBRAS S.A. entre os anos de 2009 e 2011 e tem a função de realizar o escoamento do gás natural proveniente de parte da bacia de Santos, incluindo-se poços de exploração na zona do pré-sal. Situa-se entre os municípios de Caraguatatuba/SP e Taubaté/SP, com uma extensão aproximada de 92 Km.

O duto transpõe diversos geossistemas, tais como a planície costeira e a serra do Mar, como é comum para empreendimentos dessa natureza.

Parte desse trajeto foi percorrida por meio de um túnel, especialmente escavado sob a área do Parque Estadual da Serra do Mar, que é unidade de conservação de proteção integral. O túnel apresenta uma extensão aproximada de 5 Km e seu projeto previu apenas um ponto de emboque, na área de planície, sendo necessária a utilização de um poço com cerca de 500 metros de profundidade para realizar a conexão de sua extremidade final à área de planalto. Dessa forma, a instalação do gasoduto evitou a transposição de grande parte dos terrenos mais sensíveis quanto aos aspectos geotécnicos, reconhecidamente instáveis e historicamente sujeitos a eventos catastróficos, como os deslizamentos e corridas de lama, ocorridos em 1967, quando se registrou a perda de centenas de vidas humanas.

O trecho transposto pelo gasoduto que será analisado nesse estudo tem uma extensão aproximada de 14 km e inicia-se no ponto de conexão da parte superior do poço (Km 7,5) e vai até a altura do quilômetro 22, por ser uma área de relevo acidentado e de grande sensibilidade ambiental, atravessando diversos corpos hídricos contribuintes dos reservatórios de Paraibuna, Paraitinga e Santa Branca.

A área em questão, assim como toda a área de influência direta e indireta do empreendimento foi diagnosticada e analisada em virtude da realização do Estudo de Impacto Ambiental – EIA, o qual subsidiou a análise, por parte do IBAMA, e culminou à época na certificação da viabilidade ambiental e conseqüente emissão da licença prévia para o empreendimento. Os dados do EIA serão em parte comparados com a nova análise, a fim de se validar o método proposto neste trabalho.

Cabe ressaltar que o trecho escolhido para análise apresenta-se em boa parte sobre áreas montanhosas, e que, aliadas aos demais aspectos físicos do terreno (geologia, solos) e por se tratar de uma região onde há recorrência de eventos climáticos extremos, caracterizam-se como áreas de alto a muito alto risco geológico.

Áreas - Alvo: Foram escolhidas como áreas-alvo para a análise deste estudo, dois pequenos trechos que correspondem em parte ao que foi classificado no EIA como de alto risco geológico-geotécnico. Nesses sub-trechos ocorreram durante as obras dois acidentes ambientais relativos a escorregamentos de grandes proporções, exatamente nos pontos de quilometragem 8,800 e 22,050.

Segundo o EIA, as Áreas de Risco Alto seriam os sub-trechos: **Km8+100m-Km10+700m**; Km15+600m-Km16+400; **Km19+300-Km21+800m**; Km22+400-Km23; Km24+200m-Km25+300m; Km34+200m-Km36+300m e do Km36+900m ao Km38+800m. São áreas de alta suscetibilidade aos processos erosivos e a movimentos de massa. O relevo mais movimentado de morros, morros paralelos e mar de morros, onde as declividades são mais elevadas, favorece o desenvolvimento de processos erosivos e de movimentos de massa.

5.1 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA – ASPECTOS DO MEIO FÍSICO

5.1.1 - GEOLOGIA

A Área de Influência Indireta do empreendimento (AII) encontra-se inserida em uma região de geologia complexa. Nessa região, ocorreram diversos eventos geotectônicos, com terrenos geológicos apresentando uma seqüência de unidades litoestratigráficas de idades bastante variáveis.

As unidades mais antigas pertencem ao Pré-Cambriano (Arqueano/Paleoproterozóico, Mesoproterozóico e Neoproterozóico), enquanto as mais novas são representadas por rochas e coberturas sedimentares inconsolidadas e pelos sedimentos aluvionares holocênicos de idades mais recentes (Cenozóico – Terciário/Quaternário).

As rochas pré-cambrianas são predominantes. Significam cerca de 85 % da AII, estando inseridas no contexto da Faixa Ribeira. Representam distintos ambientes tectônicos, com intensa complexidade estrutural resultante da superposição de estruturas geológicas e diferentes transformações metamórficas, assim como complicadas deformações. Tais transformações incluem processos de migmatização e infiltrações graníticas que resultaram em produtos finais de difícil reconhecimento em relação aos materiais de origem. As seqüências dobradas e metamorfizadas do Neoproterozóico formam faixas de dobramentos separadas por áreas de rochas mais antigas que sofreram retrabalhamento brasileiro. Esses retrabalhamentos proterozóicos envolveram processos de recristalização, deformação, intrusão de granitos e rejuvenescimento isotópico. Zonas de cisalhamento transcorrentes dextrais definem uma estruturação regional marcante de orientação NE-SW e ENE-WSW, condicionando as formas alongadas das seqüências metamórficas e a disposição concordante dos corpos graníticos (BIODINÂMICA, 2006).

5.1.2 - GEOMORFOLOGIA

A área selecionada para estudo está inserida nas Províncias Geomorfológicas Planalto Atlântico e Província Costeira. O Planalto Atlântico caracteriza-se como uma região de terras altas, constituídas, predominantemente, por rochas cristalinas e, em parte, por rochas sedimentares da bacia cenozóica de Taubaté. A Província Costeira corresponde à área drenada diretamente para o mar, constituindo o rebordo do Planalto Atlântico, região serrana e planícies pequenas de origens variadas e enseadas (BIODINÂMICA, 2006).

Nesse contexto, as Unidades Geomorfológicas que são transpostas pelo gasoduto GASTAU são: Planalto do Paraitinga e Médio Vale do Paraíba, pertencentes ao Planalto Atlântico e, na Província Costeira, ocorrem as unidades Serrania Costeira e Baixada Litorânea.

O trecho em estudo foi propositadamente escolhido em áreas compreendidas pela Serrania Costeira e Planalto do Paraitinga, por representarem as formas de relevo mais acentuadas.

Planalto do Paraitinga (PP) - Trata-se de um planalto cristalino de estrutura complexa, cuja região drenada pela bacia do rio Paraíba do Sul encontra-se bastante dissecada. Apresenta um relevo de “mar de morros” e de serras longitudinais, com altitudes alcançando cerca de 1.300m, com amplitudes locais de relevo com valores, em geral, de 200 a 300m. Os rios são jovens, com corredeiras e cachoeiras adaptadas, geralmente, às

estruturas geológicas. Predominam os sistemas de relevo Mar de Morros, Colinas Pequenas com Espigões Locais e Morros Paralelos.

Serrania Costeira (SC) - A Serrania Costeira faz parte da serra do Mar e coincide com a extensa faixa das encostas de transição que orla o Planalto Atlântico desde a divisa do Estado do Rio de Janeiro. Essa unidade é constituída por escarpas festonadas, por vezes desfeitas em espigões lineares digitados. Em geral, as escarpas situam-se próximas à linha da costa, restringindo as áreas de planícies, enquanto que os espigões, às vezes, avançam para as baixadas, formando promontórios. Tais escarpas são sustentadas, predominantemente, por granitos orientados e migmatitos pré-cambrianos.

5.1.3 - HIDROGRAFIA

No trecho em estudo, o GASTAU encontra-se na bacia do rio Paraíba do Sul, em seu alto curso, transpondo diversos cursos d'água afluentes do sub-bacia do rio Paraibuna. Parte do gasoduto está instalado ao longo das micro-bacias que ocorrem na margem esquerda do reservatório do Paraibuna.

5.1.4 - CLIMA

O clima é um dos fatores preponderantes na avaliação ambiental integrada. Para a região de inserção do gasoduto GASTAU, é notória a ocorrência de problemas de movimentos de massa que se associam a eventos pluviométricos extremos.

O clima da região onde deverá ser implantado o Gasoduto Caraguatatuba–Taubaté é classificado como subtropical úmido, com inverno moderadamente seco e verão quente e úmido, ou seja, Cwa, de acordo com a classificação de Köppen. A região está compreendida entre os municípios de Caraguatatuba e São José dos Campos, cujos valores das médias totais anuais da precipitação são: 2.016,4mm (São José) e, 1.750,0mm (Caraguatatuba).

6 - ALTERNATIVAS LOCACIONAIS – PREMISSAS DO TERMO DE REFERÊNCIA PARA ESTUDOS AMBIENTAIS

Há diversos critérios que interferem diretamente na definição de traçados de dutos, muitos deles são por força legal, critérios de exclusão, pois a dominialidade e uso do território podem delimitar áreas extensas onde a instalação não poderá ser realizada.

São exemplos das áreas especiais: terras indígenas, Unidades de Conservação de Proteção Integral, áreas militares, etc.

Entretanto, os aspectos ambientais que sofrerão impactos diretos também devem ser conhecidos, quantificados e qualificados. Os principais aspectos podem ser classificados quanto à área do conhecimento com o qual se associa:

Meio socioeconômico: propriedades rurais interceptadas, áreas de interesse mineral, cruzamento com outros empreendimentos.

Meio Biótico: fragmentos florestais, APPs, áreas de refúgio/reprodução de fauna

Meio Físico: encostas íngremes, solos de baixa estabilidade, rios de grandes proporções e áreas cársticas.

Tais aspectos devem ser conhecidos, a priori, para todas as alternativas locais apresentadas no EIA, de forma a justificar a escolha da alternativa preferencial.

6.1 - UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAS DO GEOPROCESSAMENTO PARA DEFINIÇÃO DE TRAÇADOS

A definição de traçados para a implantação de dutos terrestres já vem sendo realizada, por parte da equipe da Petrobras, com o uso de ferramentas de geoprocessamento especialmente dedicadas à geração e análise automática da que seria a melhor alternativa. Para isso, as simulações são realizadas em ambiente SIG, onde os diversos aspectos dos meios socioeconômico, biótico e físico são mapeados e analisados espacialmente. Portanto é uma análise complexa onde também se pretende determinar a melhor alternativa que justifique a viabilidade econômica para o empreendimento. Junior (2009) realizou amplo estudo sobre o tema na mesma área de abrangência do gasoduto GASTAU, tendo utilizado ferramentas para integração de mapas temáticos nos softwares ArcView e SAAP (Sistema Ambiental de Análise de Alternativas de Percurso), software este que foi desenvolvido exclusivamente para uso da empresa. As alternativas indicadas pelos sistemas automatizados foram comparadas com outra, apresentada por um profissional projetista com ampla experiência no assunto. Concluiu-se nesse estudo que os sistemas automatizados, especialmente o SAAAP, geraram melhores resultados que o convencional, tanto nos aspectos ambientais, econômicos e construtivos.

Diversos outros empreendimentos atualmente relacionados a obras de infra-estrutura lineares estão sendo analisados com uso das ferramentas de geoprocessamento, entre eles: TAV – Trem de Alta Velocidade (Rio de Janeiro - Campinas) e a Ferrovia Oeste – Leste.

7 - MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizados neste trabalho um conjunto de dados geoambientais que foram gerados por instituição governamental e estão disponíveis para uso público, considerando que atendam aos critérios: i) uniformidade metodológica para a aquisição e processamento dos dados originais, ii) escala de mapeamento adequada à análise regional, iii) disponibilidade e facilidade de uso em diversos softwares de geoprocessamento.

Tais requisitos são importantes no sentido de se validar um método de análise que obtenha resultados que possam ser facilmente integrados, além de, para o caso dos estudos ambientais para empreendimentos de grandes extensões lineares, mantenham uniformidade no mapeamento das feições geomorfométricas, uma vez que a disponibilidade de cartas plani-altimétricas apresenta grande variação de escalas, de acordo com as meso-regiões que são transpostas.

TOPODATA – O projeto TOPODATA foi desenvolvido pelo INPE em 2008 e objetivou a o processamento e análise de dados geomorfométricos obtidos pelo sistema SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission* – NASA). A metodologia utilizada pelo INPE incluiu o refinamento da resolução espacial dos dados originais, originalmente 3 arco-segundos (90 m), para um arco-segundo (30m). Para tanto os dados foram interpolados utilizando-se o método da krigagem, Valeriano, 2010.

O processamento desses dados, após o refinamento, gerou para todo o território nacional o mapeamento altimétrico, de declividade, orientação de vertentes, curvatura horizontal, curvatura vertical, talwegues e divisores de águas. Os dados disponibilizados pelo INPE, em seu sítio da Internet, estão georreferenciados em formato *raster*, em latitude/longitude (sem projeção), com coordenadas em graus decimais e *datum* WGS84.

Os autores do projeto ressaltam que devido à resolução espacial de 30m (após interpolação), ainda assim os estudos que se baseiam nas informações do TOPODATA, devem ser realizados para uma análise em que não se exija detalhe, devendo o usuário ter conhecimentos adequados para a interpretação e uso das informações.

Neste trabalho, o uso das informações provenientes do TOPODATA, restringe-se à análise comparativa com dados apresentados em escala 1:100.000, obtidos através de mapeamentos temáticos que compuseram o EIA - Estudo de Impacto Ambiental, do gasoduto GASTAU.

Nesse sentido, cabe reafirmar que o resultado das análises dos dados TOPODATA, assim como qualquer outro tratamento feito diretamente sobre os dados originais do SRTM, vale para uma interpretação e análise ambiental em escala regional, o que é fundamental para a definição prévia da locação de obras de infraestrutura como gasodutos.

Modelos Digitais de Elevação – MDE: modelos digitais de elevação (MDE) são arquivos que contêm registros altimétricos estruturados em linhas e colunas georreferenciadas, como uma imagem com um valor de elevação em cada pixel (Valeriano, 2008).

Os MDE distinguem-se dos modelos digitais de terreno (MDT), por incorporarem em seus dados quaisquer interferências advindas de objetos que estejam acima do nível do solo, como edificações e áreas florestadas. Portanto, essa característica tem extrema relevância para o imageamento de áreas onde o efeito das copas das árvores se sobrepõe ao relevo, causando o chamado “efeito dossel”.

O método de aquisição da imagem SRTM, utilizando-se da banda C (3,8 – 7,5 cm), é responsável por característica indesejável aos estudos altimétricos, pois tal comprimento de onda é incapaz de transpor objetos sólidos ou, no caso de florestas, as diversas camadas de folhas, gerando discrepâncias nos dados obtidos, especialmente para áreas de relevo suave.

Diversos estudos foram realizados na intenção de se identificar as reais discrepâncias altimétricas que ocorrem entre o imageamento de áreas densamente florestadas, pelo SRTM e por MDTs derivados de cartas plani-altimétricas (Santos et al, 2006). Os autores puderam conferir que, na região amazônica, para escalas de mapeamento iguais a 1:100.000, a acurácia do levantamento do SRTM atende ao definido pela Norma CONCAR, Padrão de Exatidão Cartográfico (PEC) – A.

De forma análoga, estudos específicos apresentam algoritmos que podem ser utilizados para a minimização do efeito dossel, subtraindo-se os dados do MDE proveniente do SRTM com MDE gerado a partir de carta plani-altimétrica (Curtarelli, 2011).

7.1 – PRODUTOS E FERRAMENTAS UTILIZADAS:

Dados vetoriais:

As bases de dados cartográficos utilizados provieram do acervo de arquivos submetidos ao licenciamento ambiental do gasoduto GASTAU, de posse do IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. À exceção dos mapas temáticos que foram apresentados em versões para impressão, puderam ser resgatados as informações referentes a: diretriz do gasoduto, corpos hídricos principais, centros urbanos e unidades de conservação, todos em formato *shapefile* (padrão ESRI, ArcGis). Os dados originais apresentavam-se referenciados ao sistema de coordenadas SAD-69, portanto foi necessária a conversão para o sistema WGS-84.

O *shape* da diretriz do gasoduto foi tomado com base para a geração dos polígonos correspondentes às Áreas de Influência Indireta e Direta do duto, através do comando *Analysis tools/Buffer*, para valores de 5000 metros e 400 metros, respectivamente.

Imagem Landsat ETM+: com o intuito de geoespacializar a área de estudo frente aos diversos aspectos ambientais e cobertura do solo, procedeu-se a aquisição de imagem orbital Landsat 7 (cena 180/76, de 22/06/2006), a qual apresenta alguns fatores favoráveis ao presente trabalho:

- A resolução espacial do sensor ETM+ é similar ao que foi gerado pelo Topodata (cerca de 30 metros por pixel), portanto os dois produtos podem ser facilmente integrados, gerando produtos que facilitam a análise do terreno;
- As duas imagens estão georreferenciadas para o *datum* WGS 84;
- A disponibilidade de imagens é facilitada pela ampla distribuição gratuita das cenas, via rede de computadores

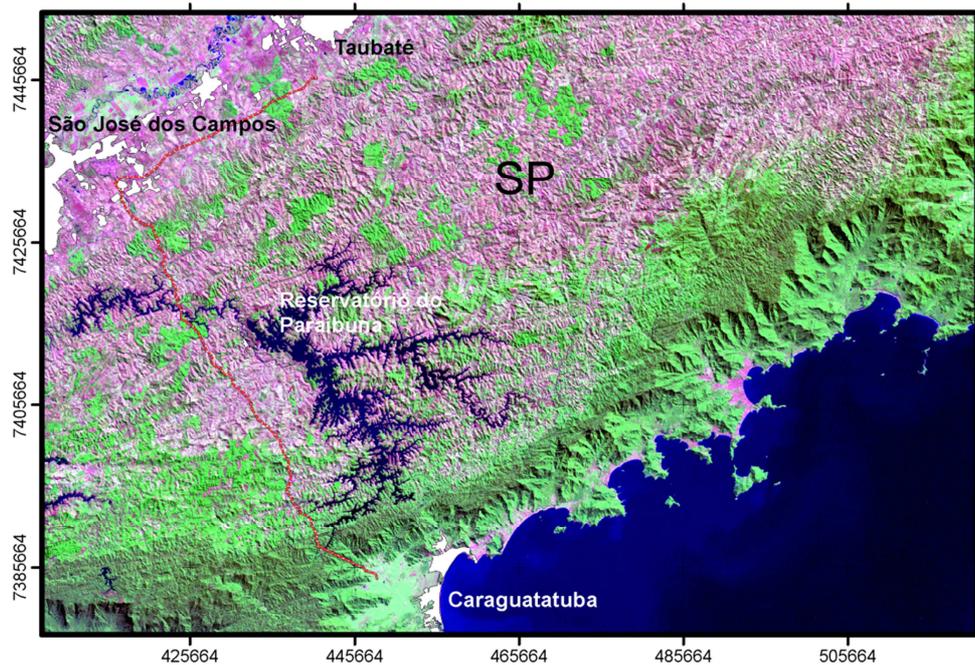
A cena Landsat foi processada no software ENVI 4.7 (ITT- Visual Information Solutions), realizando-se a composição das bandas: 7 (vermelho), 4 (verde) e 2 (azul). Essa composição foi escolhida por diferenciar os aspectos vegetativos e de cobertura do solo (natural e antropizada), além de destacar áreas de solo exposto, o que é de grande relevância para a avaliação de processos erosivos em evolução. Ressalta-se que, devido à época de aquisição da imagem (2006), não há nela quaisquer representações do gasoduto GASTAU, muito embora seja possível observar nessa mesma imagem, trechos de outro empreendimento da mesma tipologia, o oleoduto OSVAT, porém distante da área de estudo.

A imagem Landsat composta pelas bandas citadas foi exportada para um formato de arquivo *geoTiff*, posteriormente processada no software ArcGis 9.3, onde aplicou-se a ferramenta *pan-sharppening*, com o que se obteve a fusão da imagem colorida R7G4B2 com a pancromática (banda 8), aprimorando a resolução espacial para mesma da banda 8 (pixel de 15 metros).

A figura 1 apresenta a localização da área de estudo, tendo como fundo a imagem Landsat após o processamento.

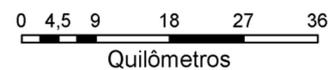
Figura 1: Recorte da área de inserção geográfica do gasoduto GASTAU

Imagem Landsat 7 - cena 218/76 - bandas: R7,G4,B2



LEGENDA

- Diretriz GASTAU
- Perímetro urbano



Imagens SRTM: as cenas do radar disponibilizadas pelo INPE estão no formato *GeoTiff*, porém não estão atribuídas a um sistema de projeção, portanto foi necessário proceder ao comando *define projection*, no software ArcGis, para que a imagem estivesse projetada para o sistema de projeção UTM - Universal Transverse de Mercator e *datum* WGS 84S. A imagem utilizada foi a relativa aos dados de altimetria (arquivo 23_465zn.tif), cuja representação em tons de cinza é a base para a geração de modelos digitais de elevação.

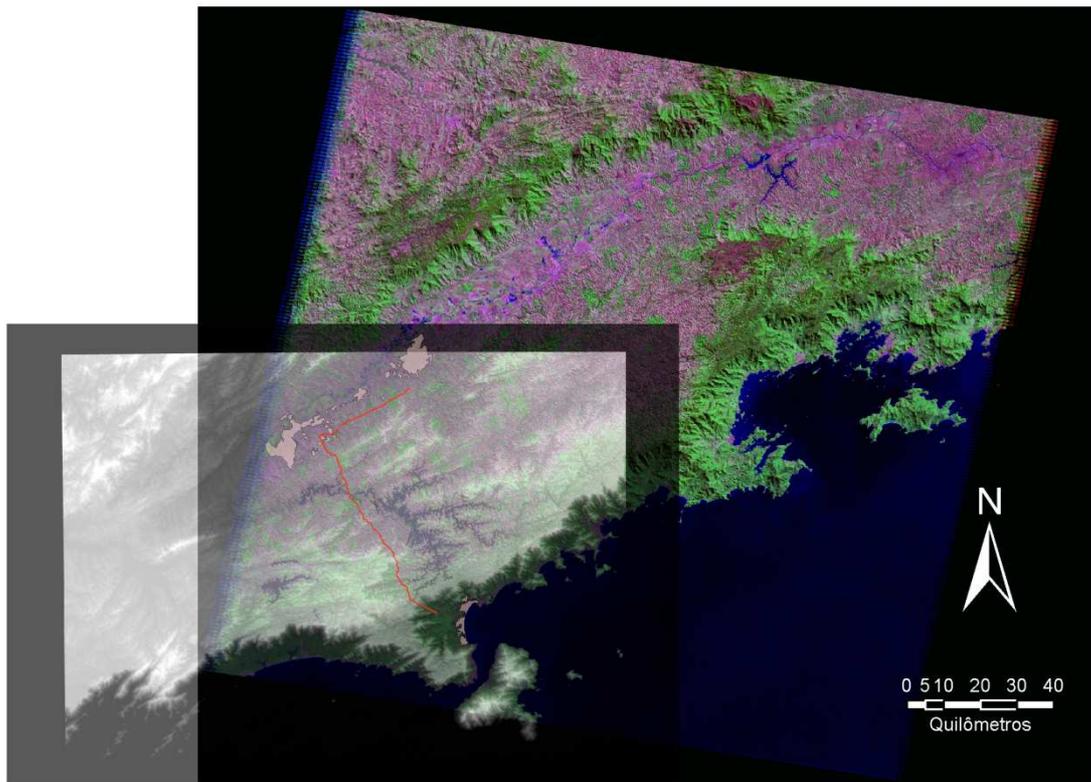
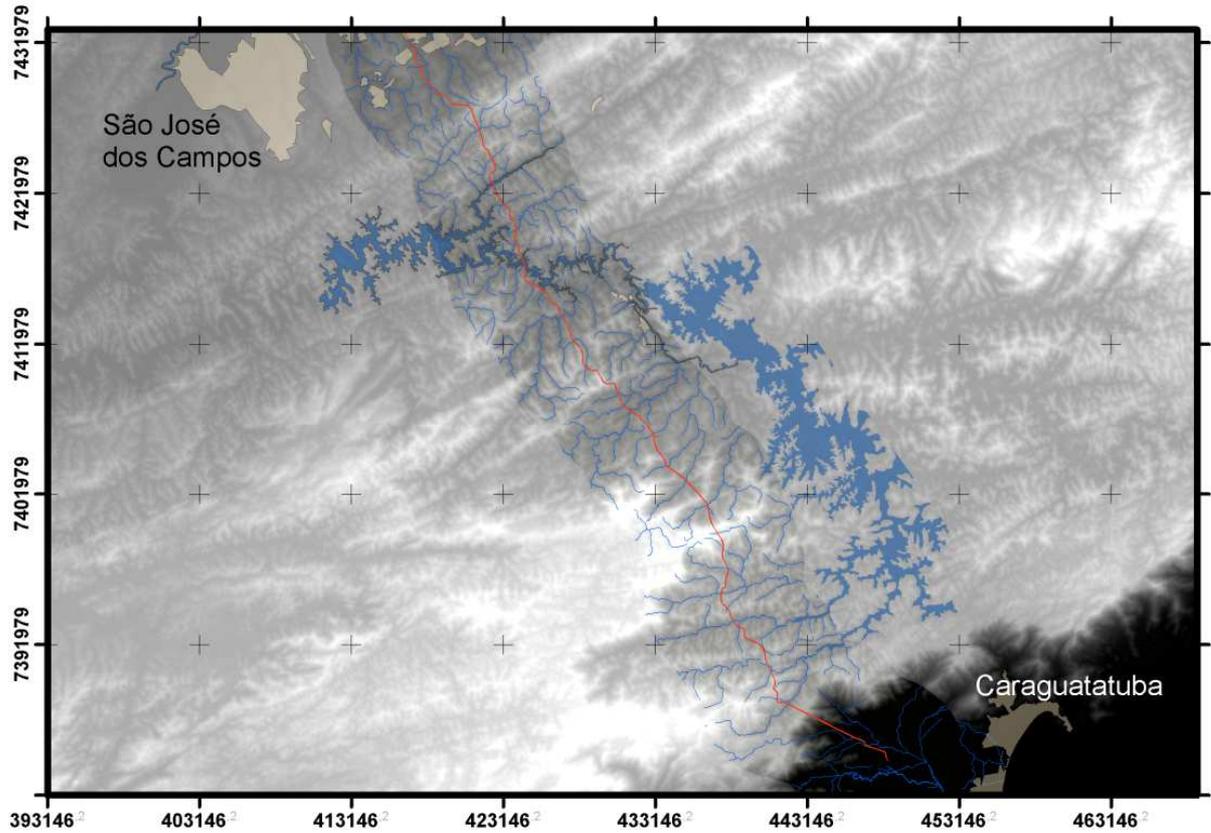


Figura 2: mosaico de imagens SRTM e Landsat 7, demonstrando a sobreposição da área de instalação do GASTAU

Devido à grande extensão regional da imagem SRTM original, foi extraída uma parte da mesma correspondente à área de influência indireta do gasoduto; para tanto foi utilizado o comando *Extract by Mask*, segundo a máscara representada na figura 3.

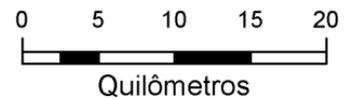
Figura 3 : Área de influência do gasoduto sobre imagem SRTM
Trecho Caraguatatuba - São José dos Campos

Imagem: SRTM/NASA (fonte: INPE-Topodata, cena 23_465)



Legenda

-  Diretriz GASTAU
-  Buffer- All (10 Km)
-  Perímetro urbano
-  Reservatório hídrico
-  Curso d'água



8 - ANÁLISE

Para a análise topográfica que é relevante ao presente trabalho, foram definidas duas sub-áreas. A escolha dessas áreas ocorreu após o processamento dos dados de altimetria do SRTM, utilizando-se da ferramenta <spatial analyst/surface analysis/contour> para a geração de curvas de nível com equidistâncias de 50 metros (figura 4). A escala de apresentação foi definida em 1:100.000, respeitando-se os limites de acuidade topográfica para dados extraídos do SRTM.

Desta forma as sub-áreas 1 e 2 destacam-se por apresentarem, visualmente, evidências de terrenos nos quais ocorrem mudanças altimétricas bruscas, o que representaria, a priori, encostas de elevada declividade.

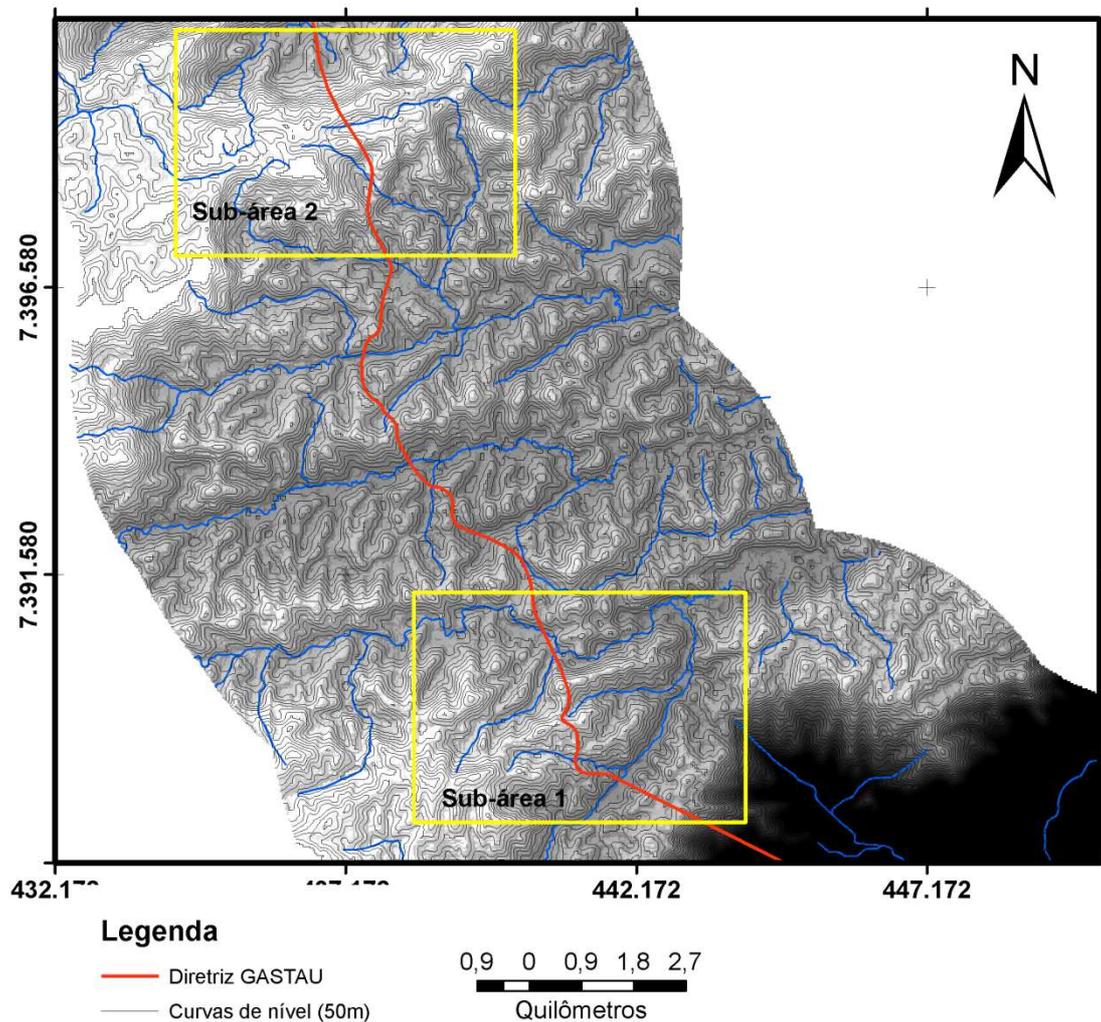


Figura 4: recorte da localização das sub-áreas 1 e 2, demonstrando o sombreamento do relevo e geração de curvas de nível com equidistâncias de 50 metros.

Optou-se por representar, na figura 5, a composição colorida da imagem *Landsat 7* com sobreposição das curvas de nível, permitindo verificar a correlação entre os planos de informação. Destaca-se que as sub-áreas 1 e 2 apresentam ampla cobertura de vegetação nativa.

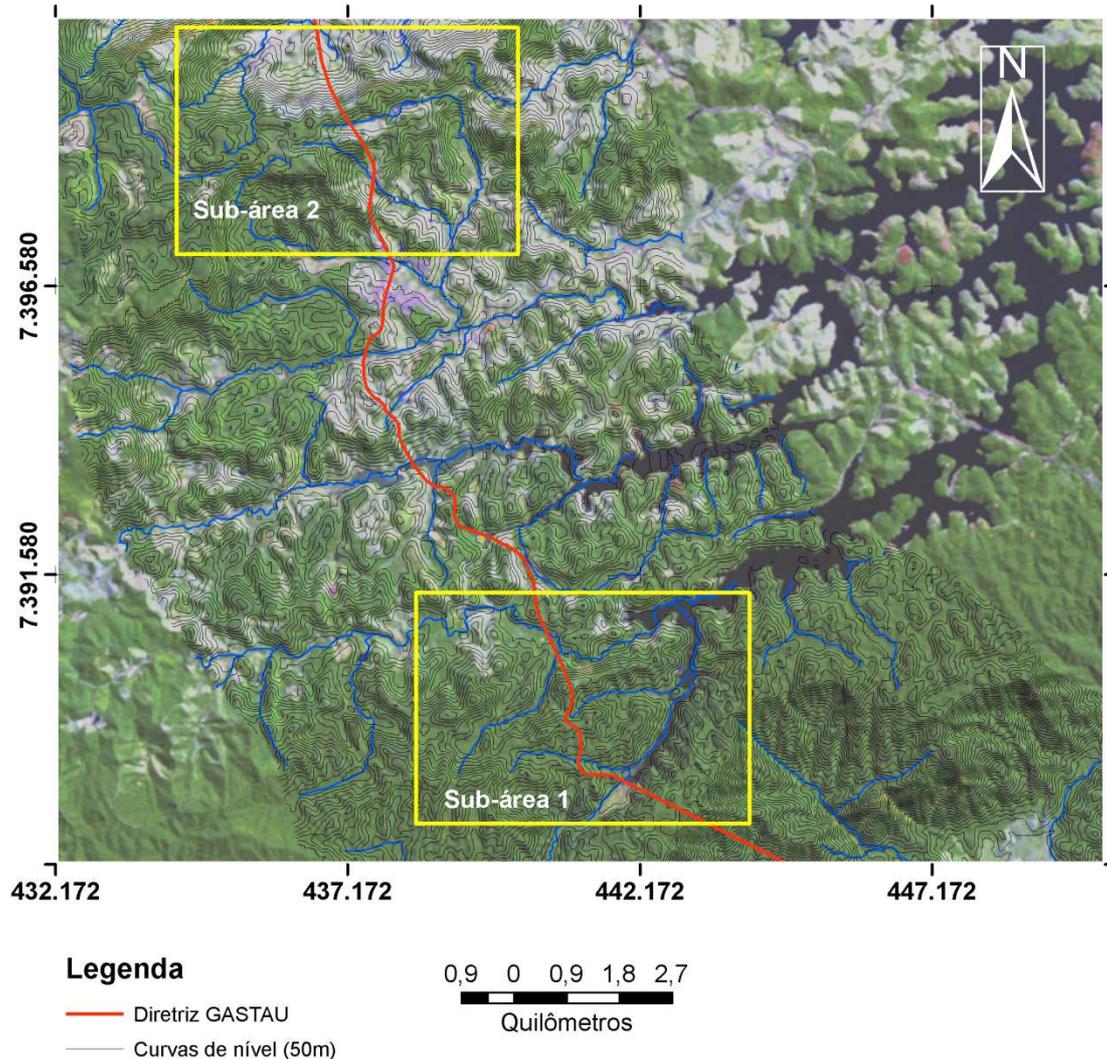


Figura 5: composição Landsat 7 (R7,G4,B2) com sobreposição de curvas de nível.

A composição desses produtos propiciou o aprimoramento visual das feições topográficas, podendo ser destacados os vales, e encostas ao longo da AII do gasoduto e, principalmente, as grandes estruturas geomorfológicas identificadas nas áreas 1 e 2.

Pode-se inferir que o tratamento analítico dos dados até aqui apresentados permitem uma verificação de adequabilidade dos projetos conceituais de dutovias em processos de licenciamento ambiental.

No caso em questão, considera-se que para análise de definição de traçado, as estruturas geomorfológicas transpostas pelo GASTAU seriam, a priori, locais com menor aptidão para a locação do duto.

Pode-se observar, na figura 4, que a dutovia aberta para a instalação do GASTAU transpõe as principais estruturas geomorfológicas ao longo deste trecho da área de influência do empreendimento. Está claro que as estruturas compostas por serras transversais à diretriz representam acidentes geográficos cujas extensões laterais não oferecem alternativas de passagem razoáveis. Nesse sentido, a identificação prévia dessas dificuldades construtivas deve motivar projetos e ações específicas para a execução e conservação da dutovia, considerando limites de escavações, aterros, supressão vegetal, readequação da drenagem, etc.

Não se pode observar, entretanto, pela imagem da figura 4 em escala 1:100.000, quais seriam as melhores possibilidades em termos de mudança de percurso para a diretriz do gasoduto, haja vista que as formas de relevo nessa escala tendem a se mesclarem, produzindo um efeito de dispersão visual.

Entende-se que a análise geomorfológica realizada em escala regional, não permite uma visualização em detalhes dos aspectos de relevo, o que deve ser realizado com apoio de outras ferramentas e produtos, especialmente derivados de aerolevanteamento e em escalas maiores que 1:100.000, que é o limite para uma utilização criteriosa dos dados extraídos do TOPODATA.

Entretanto, para fins de visualização preliminar, optou-se por executar a ampliação das sub-áreas 1 e 2 para a escala de 1:50.000 e com representação de curvas de nível com 20 metros de equidistância.

Ressalta-se que os produtos seguintes (figuras 6 e 8) somente se prestam à uma averiguação técnica preliminar, com finalidade de ressaltar as formas de relevo que apresentem maior potencialidade ao risco geológico.

Nessas figuras foram plotadas, complementarmente, a AID – Área de Influência Direta do empreendimento, que corresponde a um *buffer* de 800 metros de diâmetro.

Como apoio à análise, verificou-se a inclinação dos terrenos nas sub-áreas estudadas; para tanto foi gerado um segundo MDE com a ferramenta *3D Analyst – TIN*, sobre a qual foram traçados dois perfis topográficos A – B e C – D (figuras 7 e 9).

Sub-área 1 – Utilizando-se a escala de 1:50.000, ainda que não se possa observar detalhes texturais do terreno, pode-se perceber mais claramente as representações de formas de relevo que foram condicionadas por estruturas geológicas lineares, tais como falhas e fraturas. De mesma forma é possível discriminar visualmente as formas aproximadas de encostas, sua declividade relativa e orientação de vertentes. Todos esses elementos são de extrema importância na análise do condicionamento geomorfológico da diretriz do duto.

O perfil topográfico representado pela figura 7 demonstra as taxas de ascensão elevadas para a diretriz entre os pontos A e B. Nota-se que nos pontos marcados pelos Km 8,8 e 11, há segmentos longos de alta declividade.

É necessário relatar que no caso do escorregamento ocorrido no ponto do Km 8,8, o processo ocorreu sobre a encosta lateral, mas causando grave risco sobre a faixa do duto, por estar transpondo um trecho de cristas topográficas demasiadamente estreitas, como se pode verificar no mapa.

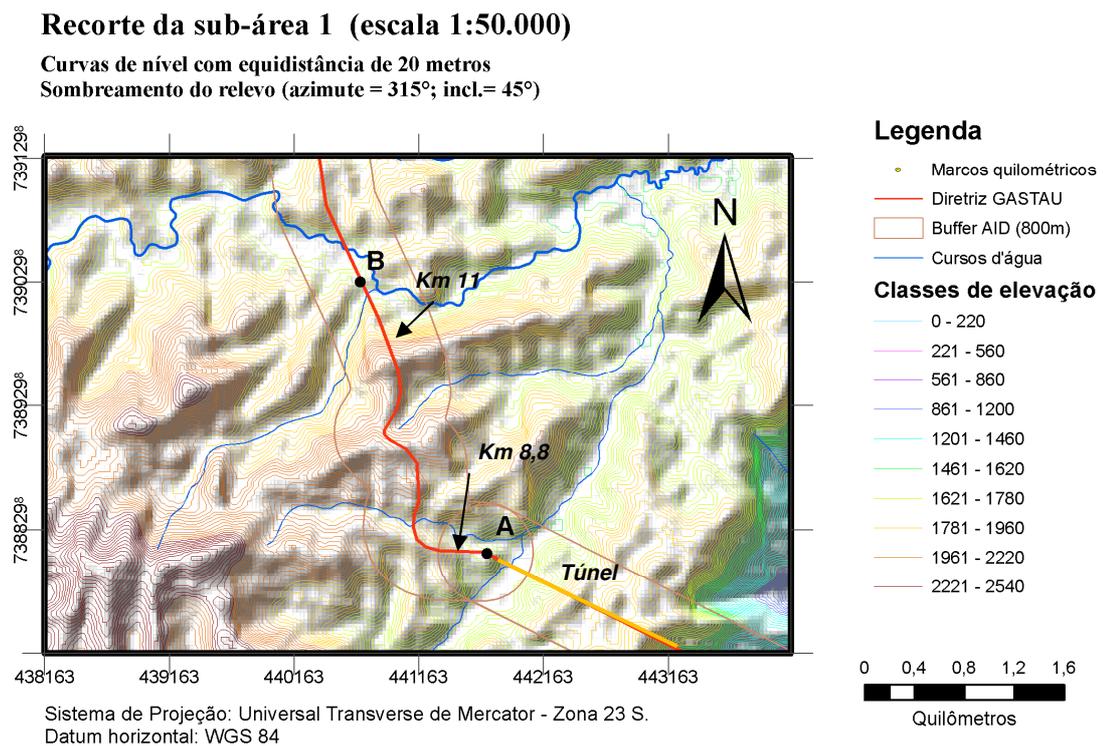


Figura 6: detalhe da sub-área 1, possibilitando melhor observação das formas de relevo, talwegues e cristas, com indicativos dos locais onde ocorreram escorregamentos.

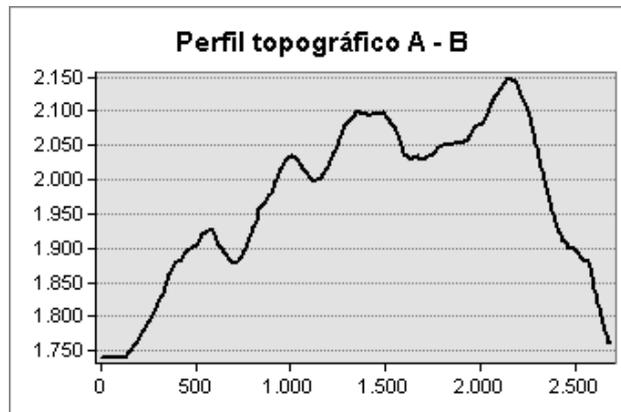


Figura 7: perfil topográfico ao longo da sub-área 1.

Sub-área 2 – A modelagem desta sub-área, como se pode observar, resultou em uma representação na qual as áreas de maior elevação não foram representadas de forma natural, causando um efeito de achatamento dos topos da serra. Tal interferência poderia ser minimizada se fossem obtidos valores de pontos cotados nesses picos topográficos, mas que não foram obtidos para o presente trabalho.

De maneira semelhante ao verificado na figura 6, as formas de relevo e os talwegues estão bem representados na escala de 1:50.000, podendo-se verificar que a transposição da serra entre os pontos C e D, foi definida uma diretriz que percorreu parte de uma crista e derivou de seu alinhamento a fim de alcançar o lado oposto em uma rampa longa, com maior amplitude lateral, o que para fins de engenharia de construção é um aspecto mais favorável que as cristas ou rampas muito curtas. Verifica-se pelo perfil topográfico da figura 9 que o acidente do escorregamento ocorreu na face de maior declividade.

Recorte da sub-área 2 (escala 1:50.000)

Curvas de nível com equidistância de 20 metros
Sombreamento do relevo (azimute = 315°; incl.= 45°)

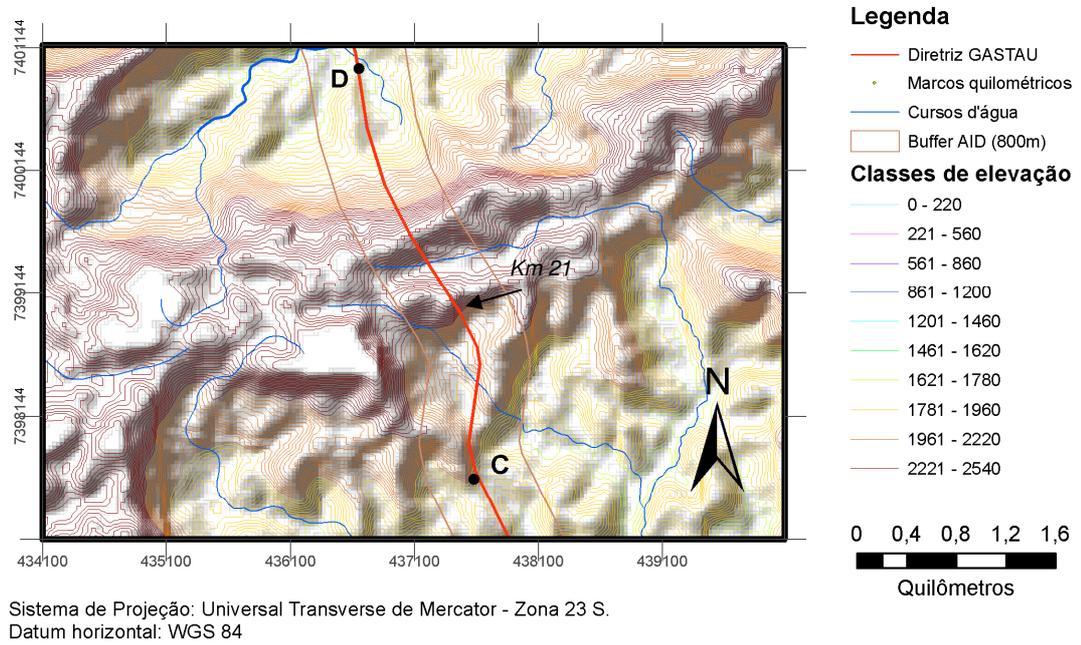


Figura 8: detalhe da sub-área 2.

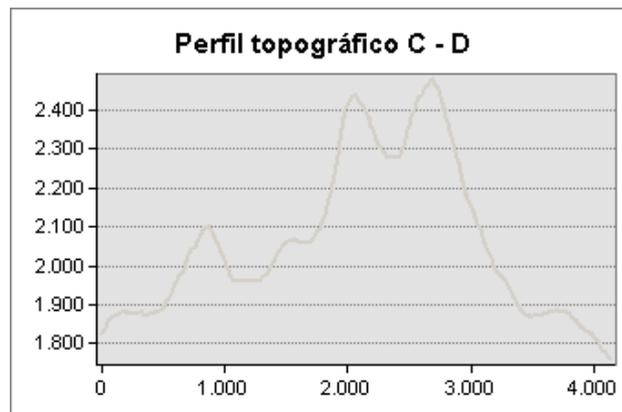


Figura 9: perfil topográfico ao longo da sub-área 2.

9 - CONCLUSÕES

A execução dos modelos digitais de terrenos, oriundos do SRTM, e sua representação nos diversos formatos disponíveis pelos sistemas SIG, propiciaram uma análise apurada das reais condições dos terrenos onde foi implantado o Gasoduto GASTAU. Verificou-se que os pontos onde ocorreram escorregamentos apresentam características facilmente identificáveis pelo sensor SRTM. Entre os aspectos mais relevantes, podem-se listar:

- Representação das vertentes mais íngremes, por adensamento de curvas de nível;
- Identificação de cristas de relevo demasiadamente estreitas para a instalação de uma dutovia;
- Visualização de estruturas geológicas: falhas e fraturas de grandes amplitudes;

A realização dos estudos ambientais do GASTAU, no tocante às questões de aspectos geotécnicos, definiu que os trechos que compreendem os quilômetros 8,800 a 11,000 e 22,050 seriam de alta favorabilidade à riscos de processos erosivos, inclusive para movimentos de massa, tais como escorregamentos.

Relata-se do EIA que a geomorfologia que caracteriza as áreas é:

- Km 8,800 a 11: Serras Alongadas, elevações com topos angulosos a abaulados, alongadas, vertentes ravinadas com perfis retilíneos, amplitudes topográficas em torno de 250 m, vales fechados.
- Km 21 a 22: Escarpas Festonadas, escarpas desfeitas em anfiteatros separados por espigões, topos angulosos, vertentes com perfis retilíneos, amplitudes topográficas em torno de 250m, vales fechados.

Os resultados obtidos pela análise topográfica realizada sobre as imagens SRTM convergem para um resultado similar ao EIA, validando o seu uso como uma ferramenta que pode ser utilizada rotineiramente para avaliações ambientais prévias.

A característica intrínseca da baixa resolução espacial da imagem SRTM disponibilizada pelo TOPODATA, justifica o seu uso em análises ambientais preliminares, qualitativas, especialmente durante as fases de estudos de alternativas de traçado. A análise em escala regional, é capaz de identificar as principais estruturas geomorfológicas de

grandes amplitudes, que intensificam dificuldades construtivas, elevação de custos e de riscos ambientais.

A execução de modelos digitais de elevação ao longo de corredores ou faixas de implantação de dutos ressalta os aspectos geomorfológicos e geológicos relevantes à análise de risco ambiental, especialmente os aspectos geomorfológicos lindeiros ao empreendimento que influenciam ou são influenciados negativamente após a instalação do duto.

A análise crítica dos dados derivados do SRTM pode que ser realizada de forma investigativa, extraindo-se elementos de relevo e geoestruturais que, por serem lindeiros ao duto, via de regra, não são analisados pelos sistemas automatizados, lineares.

A intensificação do uso dos dados TOPODATA no âmbito dos processos de licenciamento ambiental pode favorecer a consolidação das melhores alternativas ambientais de traçado para projetos de infraestrutura de dimensões regionais, tais como os lineares: dutos e linhas de transmissão.

10 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIODINÂMICA. *Gasoduto Caraguatatuba-Taubaté, Estudo de Impacto Ambiental – EIA*, Vols. 1-3, 2006.

CURTARELLI, MARCELO PEDROSO. *Redução do Efeito Dossel no MDE-SRTM utilizando técnicas de processamento digital de imagens*. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Anais, maio de 2011, Curitiba.

RODRIGUES, ANDRÉ FERREIRA, POLIVANOV, HELENA, SILVA, JORGE XAVIER DA, OLIVEIRA, WILSON JOSÉ DE. *Avaliação Geotécnica e Ambiental da Zona de Influência Do Duto Petrolífero no Município de Mangaratiba (RJ), Com a Utilização da Técnica de Avaliação do Terreno*. 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás. Salvador-BA, outubro de 2005.

SANTOS, PAULO R. A. *Avaliação da Precisão Vertical dos Modelos SRTM para a Amazônia*. Revista Brasileira de Cartografia, 58/01, abril de 2006, pág. 101

VALERIANO, MÁRCIO DE MORRISON. *TOPODATA: Guia para utilização de Dados Geomorfológicos Locais*. INPE, São José dos Campos, 2008

XAVIER, ANA C. P., LOBO, RAFAEL F. S. *SIG: Análise de aplicabilidade em avaliações ambientais*. Porto Alegre, XVI Encontro Nacional de Geógrafos, Anais, julho de 2010