

## **Determinação de áreas instáveis em faixa de dutos utilizando imagens de satélite Landsat**

Cristiane Alessandra de Moura<sup>1</sup>  
Jairo Roberto Jiménez Rueda<sup>2</sup>  
Juércio Tavares de Mattos<sup>3</sup>

<sup>1</sup>UNESP-Universidade Estadual Paulista – Instituto de Geociências e Ciências Exatas –  
Campus Rio Claro  
Rua 12-A, 496- 13506-556 – Rio Claro/SP- Brasil  
cristimoura@hotmail.com

<sup>2</sup>UNESP - Universidade Estadual Paulista  
Instituto de Geociências e Ciências Exatas – Campus Rio Claro  
Av. 24-A, 1515 - 13506-900 Caixa. Postal 178 – Rio Claro/SP – Brasil  
jairorjr@rc.unesp.br

<sup>3</sup>UNESP - Universidade Estadual Paulista  
Faculdade de Engenharia – Campus de Guaratinguetá.  
Av. Dr. Ariberto Pereira da Cunha, 333, 12516-410 – Guaratinguetá/SP – Brasil  
juercio@feg.unesp.br

**Abstract.** This work looked for starting from the systematic analysis of fraturaments (lineaments and joints), to determine the most favorable areas to processes of instability in the strip of intervention of the pipeline Osvat/Osplan in São Sebastião in the state of São Paulo - Brazil. The structural analysis was based on remote sensing images and on the drainage network map. This analysis allows to infer about factors as infiltration and degree of stress of the area, factors those that condition the erosive processes and landslide of the area. The elaborated maps analyzed the points of crossing of the lineaments, the frequency of those points for unit of area, generating the map of density of crossings of structural lineaments as well as of joints, that allow to determine the areas with larger infiltration fluids. The orientation of the relief lineaments preferably NW happens in the study area due to the orientation NE-SW of the zone of stress Paraíba do Sul. The lineal engineering works reach great areas - a lot of times continental - therefore they need strategies that make possible technically and financially the execution of maps in this scale. The use of technologies of remote sensing in the fraturaments analysis holds those two objectives, because it allows the development of this work at low costs and with technical efficiency.

**Palavras-chave:** satellite images, analysis of fraturamentos, pipeline, São Sebastião, imagens de satélite, análise de fraturamentos, oleoduto, São Sebastião.

## 1. Introdução

A área de estudo (Figura 1) compreende as Folhas Topográficas Pico do Papagaio, Caraguatatuba, Maresias e São Sebastião e está localizada entre as coordenadas 23°30'/45°45' e 24°00'/45°15' no estado de São Paulo, dentro do Planalto Atlântico e da Província Costeira.

As principais vias de acesso a área de estudo são as Rodovia Rio- Santos (BR 101/SP 55) e a Rodovia dos Tamoios (SP 099). Existe também como alternativa de acesso ao duto OSVAT/OSPLAN - a estrada não pavimentada que liga Salesópolis a Caraguatatuba.

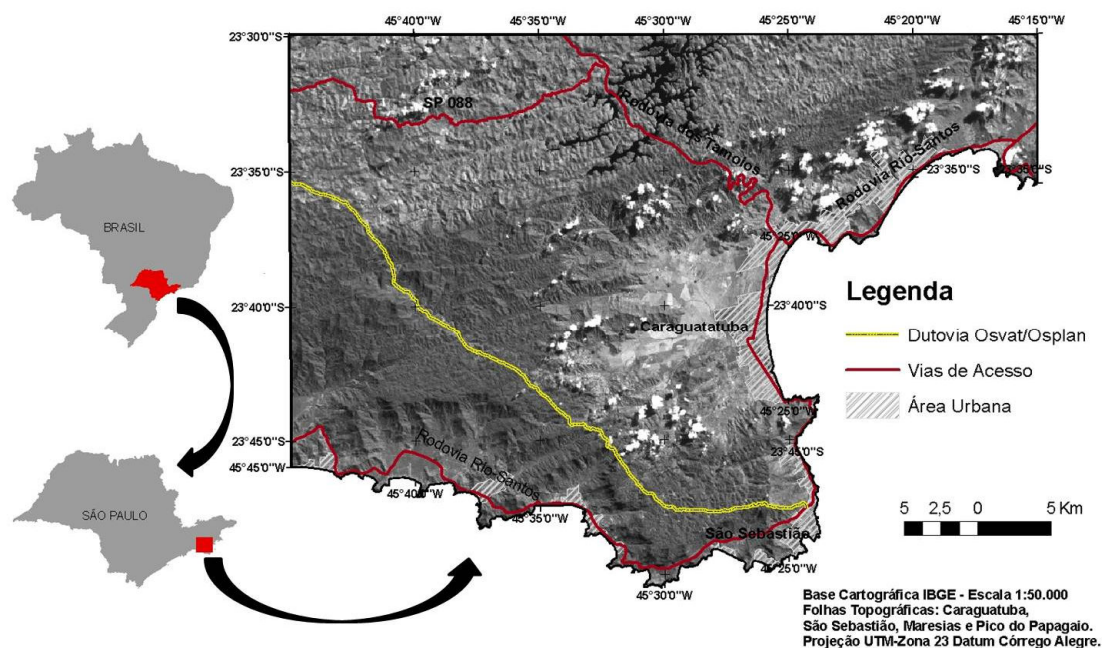


Figura 1. Localização da faixa de dutos.

O trecho da faixa de dutos Osvat/Osplan mapeado possui aproximadamente 47 km de extensão. Esta faixa é considerada de grande importância econômica, pois transporta o maior volume de hidrocarbonetos do Brasil, se estendendo do Terminal de São Sebastião - considerado o maior da América Latina- as refinarias Replan, Revap, Recap e RPBC.

Os elementos do meio físico envolvidos na dinâmica ambiental dessa área são muito complexos, com destaque aos aspectos tectônicos/estruturais, pois esta área encontra se totalmente inserida no Embasamento Cristalino em trecho do cinturão de cisalhamento transcorrente Paraíba do Sul .

## 2. Materiais e Métodos

### 2.1 Materiais

Os softwares utilizados foram ArcGIS 9 da ESRI e Spring 5 do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) para a vetorização de dados, manipulação das imagens de satélite (contraste) e elaboração de banco de dados geográficos.

Foram utilizadas as imagens Landsat 7 ETM+ (bandas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 e pancromática) órbita/ponto 218/76, de 26 de junho de 2000 com resolução espacial de 30 m (bandas 1 a 7) e de 15 m (pancromática).

Essas imagens foram transformadas do formato tiff para grib no módulo Impima do programa Spring. O registro ou georreferenciamento das imagens foi executado no programa Spring utilizando a base cartográfica vetorial do projeto Concepção, Desenvolvimento, Implementação, Aplicação e Elaboração de Cartas SÃO: Litoral Paulista e da Base de dados

do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). As imagens utilizadas foram realçadas em operação linear, para uma melhor distribuição dos níveis de cinza e conseqüentemente melhor interpretação.

Também foram utilizadas as cartas topográficas escala 1:50.000 do IBGE: Pico do Papagaio SF-23-Y-D-V-2, Caraguatatuba SF -23-Y-D-VI-1, Maresias SF-23-Y-D-V-4 e São Sebastião SF -23-Y-D-VI-3.

## **2.2 Métodos**

O Procedimento metodológico utilizado nesse trabalho consistiu em explorar os atributos espaciais das imagens de satélite utilizando uma avaliação textural das mesmas, análise de feições lineares de drenagem (traços de juntas) e alinhamentos de drenagem e tonais (lineamentos estruturais - falhamentos).

Após a extração dos fraturamentos (juntas e lineamentos estruturais) obteve-se derivações tanto dos lineamentos estruturais como dos traços de juntas conforme descrito a seguir.

### **2.2.1 Carta de Fraturamento**

A Carta de Fraturamento apresenta os lineamentos estruturais e os traços de juntas obtidos na ETM+/Landsat, banda Pan, segundo o método sistemático de fotointerpretação de fotografias aéreas e imagens de satélite, inicialmente estabelecido por Guy (1966), adequado para as condições brasileiras por Riverau (1972) e Soares e Fiori (1976), adaptado para imagens de satélite por Veneziani e Anjos (1982).

### **2.2.2 Carta de densidade de lineamentos estruturais e de traços de juntas**

As cartas de densidade de Lineamentos Estruturais e Traços de Juntas são derivadas da Carta de Fraturamento. Estas foram elaboradas utilizando o estimador por Kernel no *software* ArcGIS 9. Foram estabelecidos os parâmetros de entrada para a geração do mapa em célula de saída 100 por 100 metros e raio de busca de 1500 metros.

### **2.2.3 Carta de zonas de variação de máximos 1 e 2**

A carta de zonas de variação de máximos 1 e 2 (as duas direções de maior frequência) é derivada da carta de traços de juntas. O mapa de zonas de variação de máximos 1 e 2 determina as zonas mais fraturadas, portanto mais instáveis.

Para a confecção dessa carta sobrepôs se na tela do computador uma folha de papel com um orifício de 15 cm de diâmetro. Após isso, fixou se a escala em 1:50.000, no programa ArcGIS 9, em seguida moveu se o mapa e determinou se nesse orifício as duas direções preferenciais de traços de juntas. O produto desta seqüência caracteriza se como Carta de Máximos 1 e 2. Esta carta originará a de Zonas de Variação de Máximos 1 e 2.

### **2.2.4 Carta de densidade de cruzamentos de lineamentos estruturais**

Nas cartas de Densidade de Cruzamentos e Lineamentos foram utilizados os mesmos parâmetros das cartas de densidade de Lineamentos Estruturais e Traços de Juntas, ou seja, célula de saída 100 por 100 metros e raio de busca de 1500 metros.

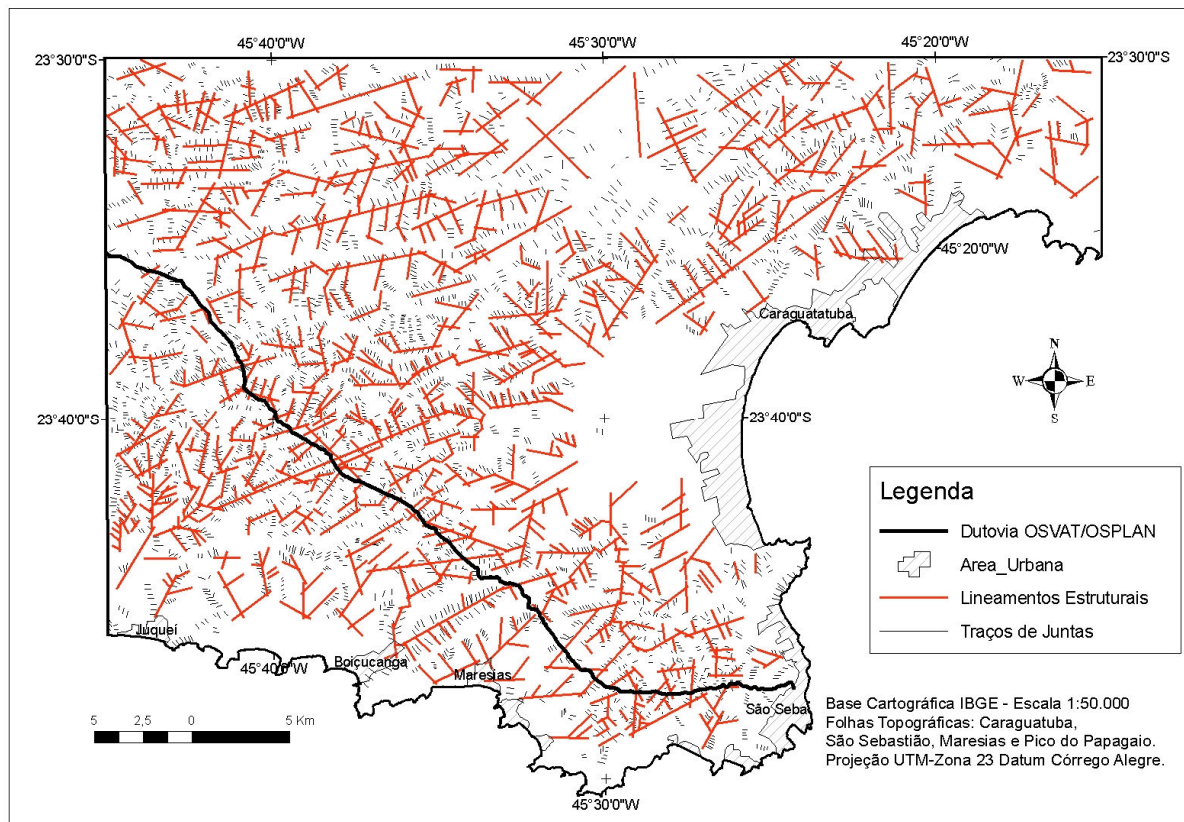
### 3. Resultados e Discussão

#### 3.1 Carta de Fraturamento

Os lineamentos mais proeminentes na área correspondem a Zona de Cisalhamento Camburu, que se trata de um conjunto de lineamentos bem definido com orientação NE, ocorrendo em um baixo topográfico (vale) no planalto entre o granito Pico do Papagaio e o Augen Gnáissico Juqueí e à zona de cisalhamento Bairro do Alto (Maffra, 2000).

Na área de estudo foram extraídos 806 lineamentos estruturais com comprimentos variando de meio a quinze quilômetros, a média de comprimentos desses lineamentos é de um quilômetro e meio.

Quanto aos traços de juntas foram obtidos 4010 traços, com o comprimento entre 65 a 500 metros e uma média de 256 metros. As maiores concentrações de traços de juntas e lineamentos estruturais determinam as zonas de intenso fraturamento, nessas zonas ocorre à percolação de fluidos de maneira concentrada pelas fraturas, de forma, que os processos de alteração das rochas são intensificados.



#### 3.2 Cartas de densidade de Lineamentos Estruturais e de Traços de Juntas

Nas Cartas de densidade de lineamentos estruturais e traços de juntas (Figura 3), pode-se observar a concentração de traços de juntas bem como dos lineamentos estruturais na porção NW da área de estudo. Isso é devido à existência das zonas de cisalhamentos Camburu e Bairro do Alto que condicionam fortemente o relevo e a drenagem da região. Na zona de cisalhamento Camburu ocorre o interflúvio das bacias do planalto Paulistano, do planalto de Juqueriquerê e planaltos do Paraitinga e Paraibuna.

Nessa área de intenso fraturamento são favorecidos os processos naturais de alteração e erosão linear, quando esta é submetida a intervenções humanas como cortes, escavações, aterros para instalação de obras de engenharia. Essas intervenções podem provocar sobrepeso

e levar ao desencadeamento de processos erosivos lineares, escorregamentos planares ou em cunha bem como queda de blocos.

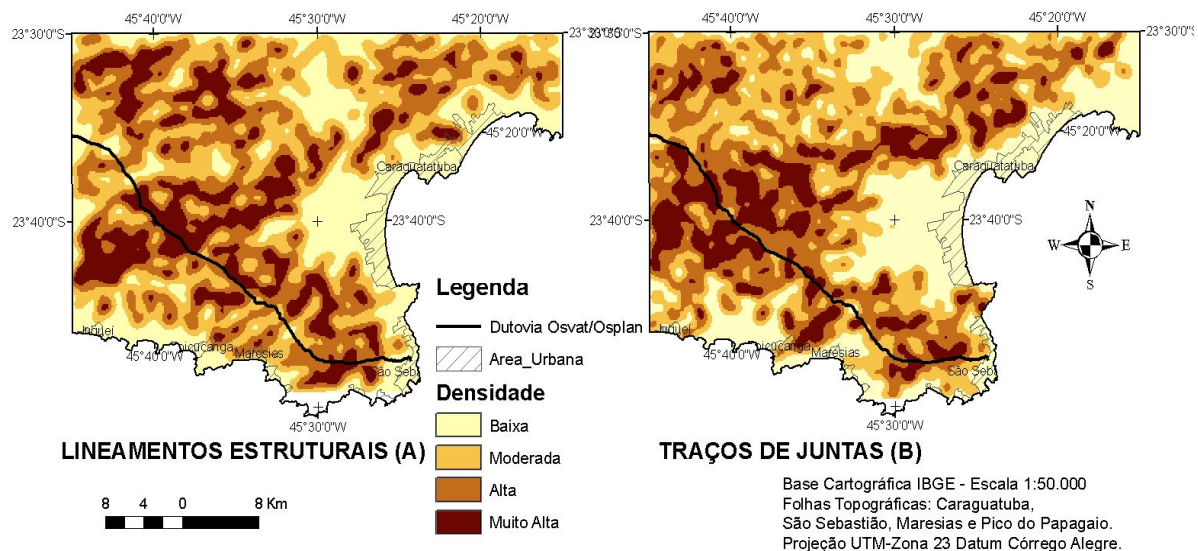


Figura 3. Representações das Cartas de Densidade de Lineamentos Estruturais (A) e Traços de juntas(B).

Na figura 4, observa-se que as direções preferenciais dos lineamentos estruturais são N20-50W e secundariamente N10W e N50-80E. Quanto aos traços de junta à direção preferencial consiste em N30-40W e a direção secundária é EW.

A faixa de dutos OSVAT/OSPLAN atravessa a área de estudo acompanhando a direção preferencial N20-50W dos lineamentos estruturais e N30-40W dos traços de juntas o que acarreta maior estabilidade a obra.

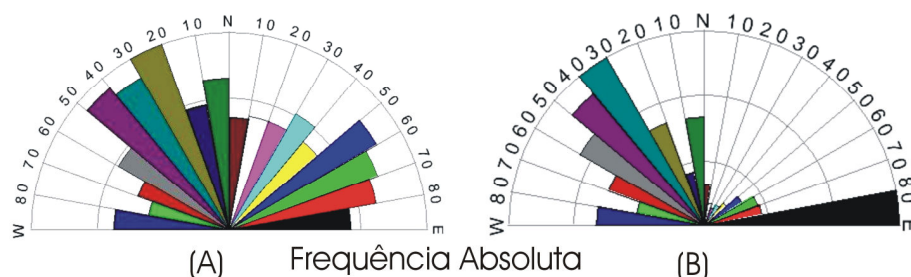


Figura 4. Diagrama de rosetas para os lineamentos estruturais (A) e traços de juntas(B).

No entanto, o duto corta perpendicularmente a direção secundária N50-80E dos lineamentos estruturais e EW dos traços de juntas, o que gera maior preocupação com estas áreas que caracterizam se como mais suscetíveis a processos erosivos concentrados e queda de blocos, os quais são condicionados pelas direções dos fraturamentos. Na Figura 5, pode se observar os lineamentos estruturais filtrados na análise de lineamentos do SPRING, segundo suas direções para o intervalo N50-80E, na faixa de duto OSVAT/OSPLAN.

A predominância de direções de lineamentos leva a crer que estas estão presentes em toda a área de estudo, ou seja, a instalação de obras lineares que cruzem perpendicularmente essas direções estruturais freqüentes condiciona maior atenção nesses trechos específicos, pois estes tendem a apresentar processos erosivos e gravitacionais. Na figura 5, nota se a existência dessas estruturas em toda a faixa de dutos com concentração próxima a região da zona de cisalhamento Camburu. Nesta área um maior detalhamento é imprescindível devido sua complexidade estrutural.



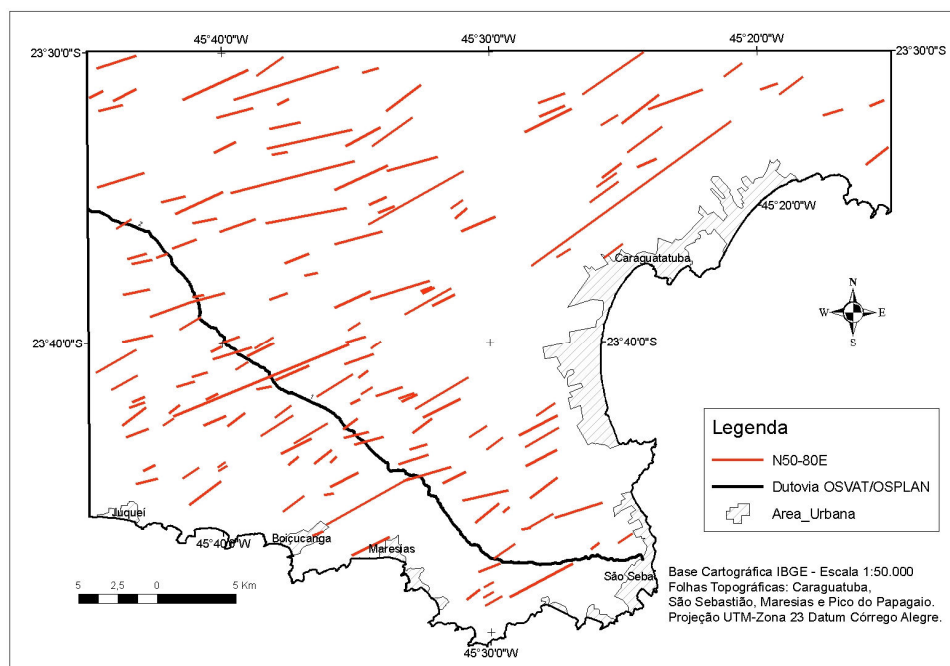


Figura 5. Representação dos Lineamentos estruturais secundários N50-80E na área de estudo.

A orientação dos lineamentos de relevo e traços de juntas preferencialmente a NW ocorre na área de estudo devido à orientação NE-SW do Cinturão de Cisalhamento Transcorrente Paraíba do Sul.

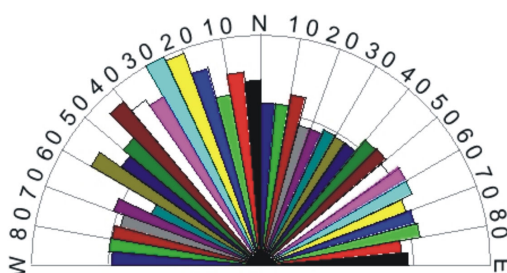


Figura 6. Diagrama de rosetas da de elementos lineares da drenagem da área de estudo.

A drenagem da área de estudo possui distribuição isotrópica, conforme o diagrama de rosetas (Figura 6), apenas a direção N20-30W se destaca das demais. Comparando se o resultado obtido com o dos traços de juntas e lineamentos de relevo percebe se o forte condicionamento da drenagem por estas estruturas.

### 3.3 Carta de Zonas de Variação de Máximos 1 e 2

Conforme Mattos et al (2002), a análise de traços de junta em máximos 1 e 2 tem como objetivo determinar o processo de deformação regional e o local onde estes mudam bruscamente de direção, determinando as zonas onde existe uma variação no regime de campo de tensão da deformação, determinando áreas de maior fraturamento, ou seja, suscetibilidade a erosão.

As áreas mais fraturadas são aquelas onde há variação de máximos 1 e 2 concomitantemente. Seguidas daquelas em que há variação somente dos máximos 1 e finalmente variação somente no máximo 2. As zonas de variações de máximos de fraturamentos e os eixos de máximos indicam zonas tectonicamente muito ativas. Estas áreas são intensamente fraturadas em várias direções e configuram locais de materiais muito alterados.

Na área de estudo, mais especificamente no trecho da dutovia próxima a zona de escarpas festonadas voltadas a para o município de São Sebastião, ocorre uma zona de variação de máximos 1 e 2. Assim sendo, esta configura numa área de grande instabilidade ambiental com prováveis processos erosivos e gravitacionais, nesta área localiza se o sistema de cavalgamento São Sebastião. Outras zonas de variação de máximos ocorrem na região N da área de estudo na faixa de cisalhamento transcorrente Camburu.

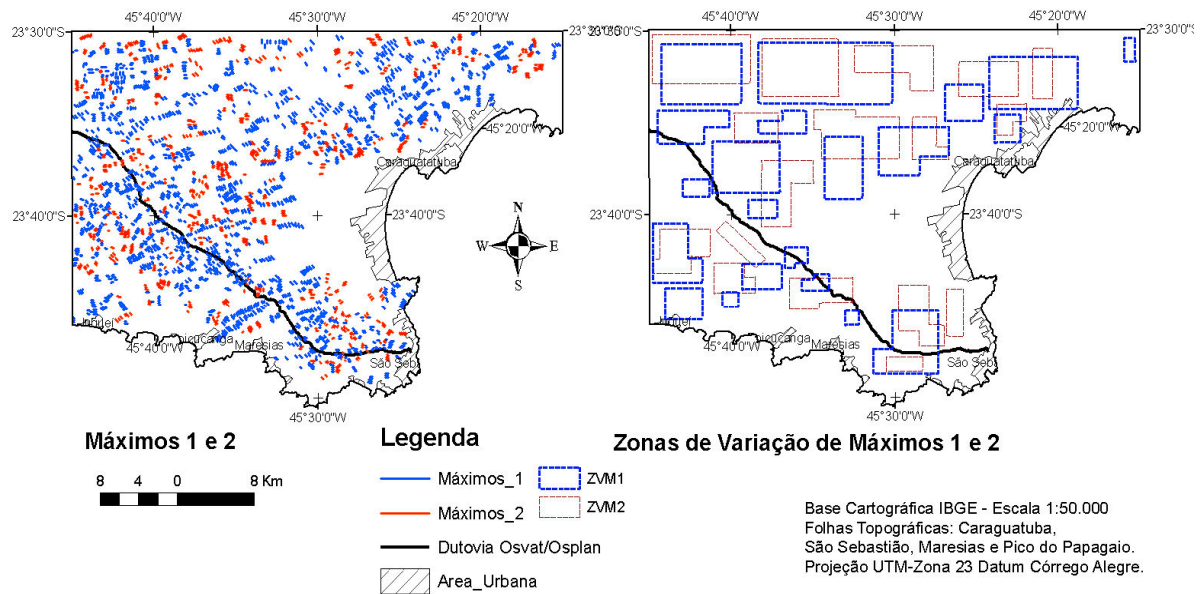


Figura 7. Representação das Cartas de Máximos 1 e 2 (A) e das Zonas de variação de máximos 1 e 2 (B).

## 2.4 Carta de Densidade de Cruzamentos de Lineamentos

A carta de densidade de cruzamentos permite realizar a avaliação em contexto regional das zonas de intenso cruzamento de fraturamentos. Pode se observar um eixo principal de intensidade de ocorrência de lineamentos e cruzamentos que se estende da porção leste até a porção norte da área de estudo, com direção SW-NE representativa da Zona de Cisalhamento Camburu. Na porção NW da área de estudo ocorre uma concentração de cruzamentos na região da zona de cisalhamento Bairro do Alto.

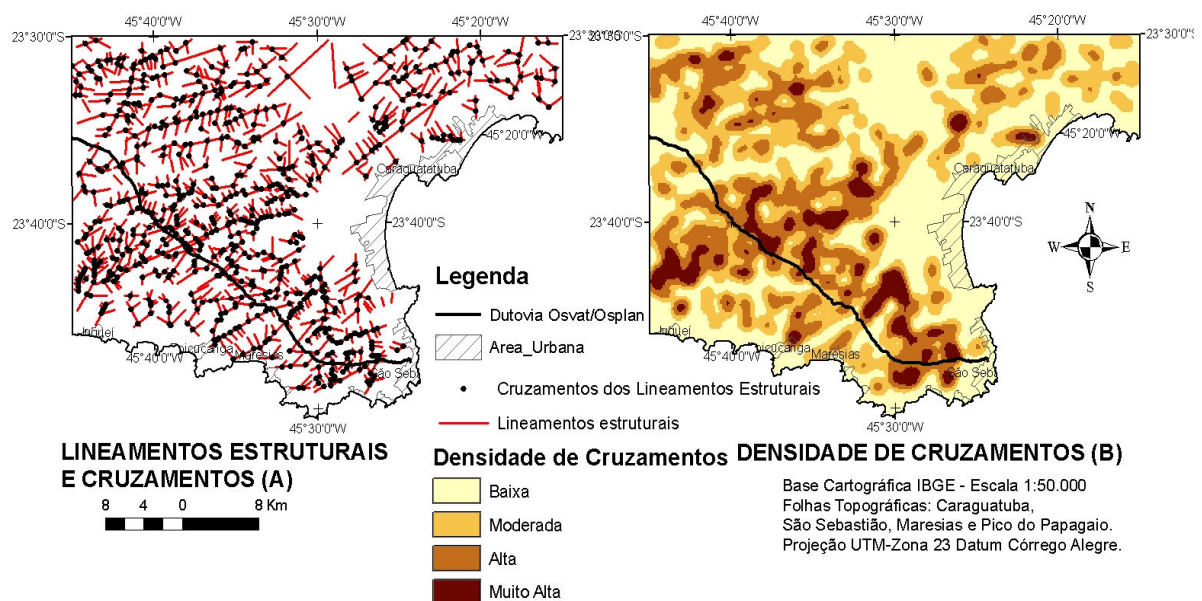


Figura 8. Representação da Carta de Densidade de Cruzamentos de Lineamentos.

#### 4. Conclusões

A área de estudo por encontrar-se totalmente inserida no Embasamento Cristalino em trecho do cinturão de cisalhamento transcorrente Paraíba do Sul possui grande complexidade estrutural. Essas características garantem maior preocupação com instabilidades como escorregamentos e processos erosivos. Incorporando-se a esses fatores as altas declividades e as chuvas concentradas do ambiente tropical úmido esta área pode ser considerada como uma das mais complexas do território brasileiro. De acordo com esta afirmativa, obras de engenharia instaladas nesse ambiente – como no caso a dutovia OSVAT/OSPLAN - devem receber atenção redobrada, através de monitoramento constante, para evitar acidentes que causem impactos ambientais e socioeconômicos.

As obras lineares possuem especificidades quanto a sua escala de interferência - muitas vezes continentais - portanto necessitam de estratégias que viabilizem tecnicamente e financeiramente esses mapeamentos. O uso de tecnologias de sensoriamento remoto na análise de fraturamentos comporta esses dois objetivos, pois permite o desenvolvimento desse trabalho a baixos custos e com eficiência técnica.

Ressalta-se que é recomendável o uso das cartas de densidade de traços de junta e lineamentos estruturais bem como da análise de frequência de direção através do diagrama de rosetas para a determinação de áreas intensamente fraturadas e, portanto suscetíveis a impactos ao duto.

No caso de obras lineares a análise de fraturamentos é imprescindível, pois permite uma análise regional das estruturas geológicas condizente com a escala destas obras, e conseqüentemente conhecer as direções principais dos fraturamentos de determinada região garantindo melhores decisões quando da definição de traçados e estratégias para a gestão e manutenção destas obras. Em se tratando de um ambiente tão complexo estruturalmente como o da área de estudo essa análise é ainda mais importante.

Destacamos que nessa situação o uso de imagens de satélite é de fundamental importância, pois estas permitem analisar grandes áreas em pouco tempo e com isso favorecem tomadas de decisões mais rápidas e eficazes para o detalhamento de trechos que demandam maiores cuidados.

#### 5. Agradecimentos

A Agência Nacional do Petróleo - ANP, da Financiadora de Estudos e Projetos - FINEP e do Ministério da Ciência e Tecnologia, por meio do Programa de Recursos Humanos da ANP – PRH-5 para o setor de Petróleo e Gás. E aos meus orientadores.

#### 6. Referências

- Guy, M. Quelques principes e quelques expériences sur la methodologie de la photo-interpretation. IN: **Symposium International de Photo-Interpretation**, 2, 1966, Paris. II Symposium International de Photo-Interpretation: Acte, 1966, v.1, p.21-41.
- Hassui, Y.; Miotto J.A. **Geologia Estrutural Aplicada**. Coordenadores Yociteru Hassui e José Augusto Miotto. São Paulo: Associação Brasileira de Engenharia: Votorantim, 1992.
- Loczy, L.; Ladeira, E.A. **Geologia estrutura e introdução à geotectônica**. Ed. Edgard Blucher, Rio de Janeiro, CNPq, 1980, 134p.
- Maffra, C.Q.T. **Geologia estrutural do embasamento cristalino na região de São Sebastião, SP: evidências de um regime transpressivo**. Dissertação (Mestrado em geoquímica e geotectônica)-Instituto de Geociências, USP, São Paulo, 2000.
- Riverau, J.C. **Curso de fotointerpretação: notas de aulas**. Série Didática. Brasília, Departamento de Geociências - UNB, n. 4, 1972, 128p.
- Soares P. C.; FIORI, A. P. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. **Notícia Geomorfológica**. Campinas, v. 6, n.32, 1976, p.71-104.
- Veneziani, P.; ANJOS, C.E. **Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações em geologia**. São José dos Campos, INPE, 1982, 54p.