

## **SIG MARISCO – UM SISTEMA AMBIENTAL PARA AVALIAÇÃO DAS VULNERABILIDADES EM ÁREAS DE EXPLORAÇÃO DE PETRÓLEO NO SEMI-ÁRIDO**

Reinaldo Antonio Petta<sup>1</sup>, Sven Sindern<sup>2</sup>, Thomas F.C. Campos<sup>1</sup>, Paulo S. R. Nascimento<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Depto de geologia – Universidade Federal do Rio Grande do Norte (Brasil) petta@geologia.ufrn.br

<sup>2</sup>Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule (RWTH) (Germany) sindern@rwth-aachen.de

O estudo apresenta o roteiro metodológico do desenvolvimento do SIG MARISCO (Sistema de Monitoramento de Áreas de Risco) que através de técnicas de Geoprocessamento, associadas a um banco de dados ambientais e socioeconômicos, busca a obtenção das Cartas de Vulnerabilidade a derrame de óleo da região do campo petrolífero do Canto do Amaro, localizado no estuário do Rio Mossoró (RN- Brasil), tendo como objetivo final se estabelecer as bases temáticas para elaboração de planos de contingência a desastres a vazamentos em áreas de fortes atividades de exploração de petróleo. Esta frágil região estuarina (principal alvo da exploração de petróleo no RN) é uma área caracterizada pela intensa interferência de atividades antrópicas, destacando-se uma malha de mais de 1.700 poços de petróleo, dutos e estruturas de armazenamento e transporte de gás e óleo, lagoas de estabilização e de tratamento de dejetos, estações coletoras e de bombeamento além de um pólo salineiro e largas áreas com atividades da carcinicultura. A sistemática metodológica deste estudo foca principalmente o monitoramento geoambiental por meio da análise de imagens multitemporais de sensores orbitais Spot (2000 a 2004) e Ikonos (2003) georreferenciados, e com verificação e controle de GPS (L1/L2) em campo e fotografias de levantamentos aéreos de baixa altitude. Os produtos sensores foram analisados por meio de técnicas processamento digital de imagem (PDI), associadas a técnicas tradicionais de mapeamento, para produção de mapas temáticos índices em escalas de detalhe (1:25.000) e semi-detálhe (1:50.000), gerando cartas de informações geológicas, geomorfológicas, pedológicas, de vegetação, de uso e ocupação do solo e vulnerabilidade natural e ambiental à ocupação e atividade exploratória petrolífera. O cruzamento dos mapas foi baseado no conceito de estabilidade de unidade considerando-se a análise ecodinâmica descrita por Tricart (1977) avaliando-se a inter-relação entre os processos de morfogênese e pedogênese, integradas a análises do tipo de rocha, solo, relevo, vegetação, e da carta de uso e ocupação do solo. O cruzamento dos mapas foi realizado utilizando-se o módulo *Geoprocessing Wizard* do software ArcGis, e a integração dos dados temáticos foi feita segundo modelo adaptado para esta análise e baseado nos modelos utilizados por Barbosa (1997), Crepani (1996) e Grigio (2003). Pode-se observar que a escolha da bacia hidrográfica como o principal componentes espacial do modelamento ambiental, atendeu perfeitamente as análises que sobre esta foram desenvolvidos. O uso de um SIG neste caso permitiu conduzir a uma coexistência interativa entre mais de um espaço-problema e mais de um espaço-solução; com o estabelecimento de níveis de classificação para as metas e objetivos. O SIG MARISCO munido de todas suas ferramentas de consulta, análise, e modelamento facilita a tomada de decisões, principalmente quando estas necessitam ser estabelecidas em processo de urgência e visualizadas em conjunto por um grupo de analistas posicionados em diferentes locais, melhorando significativamente a capacidades de gerenciamento dos diferentes modelos de dados geográficos bem como as possibilidades de consulta à base de dados espacial.

*Geologia Ambiental, Geoprocessamento, Vulnerabilidade Ambiental.*

### **1. INTRODUÇÃO**

Nesta área de forte fragilidade, que está situada nas margens da região estuarina do Rio Apodi-Mossoró e que interage com as drenagens que cortam os campos petrolíferos (Fig. 01), deve-se considerar que ali possam ocorrer desastres ambientais ligados às atividades exploratórias, e que os acidentes com a produção de óleo e gás natural no continente não afetam única e exclusivamente as áreas de risco exploratório no continente, mas podem atingir os núcleos habitacionais, coberturas vegetais e suas peculiaridades de fauna e flora, aquíferos subterrâneos, áreas estuarinas com suas comunidades pesqueiras, setores de produção de sal e, finalmente, podem alcançar as águas costeiras prejudicando a fauna e a flora marinha.

A partir dos conceitos básicos, onde se estabelece que os desastres sejam resultantes das vulnerabilidades e dos riscos ligados às atividades super ou sub dimensionadas, esse trabalho objetivou a avaliação da vulnerabilidade ambiental e natural desta região, por meio de um monitoramento geoambiental aliado a técnicas de geoprocessamento como a cartografia temática digital, banco de dados e sistemas de informações geográficas (SIG), buscando disponibilizar uma ferramenta de apoio à tomada de decisão para o planejamento ambiental

para a região do e Alto da Pedra, na região de Mossoró no Rio Grande do Norte dentro do Projeto do Integrado da Rede 5 – Norte/Nordeste de Petróleo e Gás – Sub-Rede “Monitoramento de Áreas de Risco” (MARISCO).

O monitoramento geoambiental em áreas de exploração de petróleo, com uso do geoprocessamento, têm merecido destaque de sua aplicação e resultados, pelo fato de utilizarem a interface de um banco de dados ambientais juntamente com uma classificação que integra diversas variáveis temáticas por meio das operações de geoprocessamento. Neste trabalho, foi utilizado o aplicativo ArcView para as operações de entrada, análise e processamento dos dados e de apresentação dos resultados alcançados. O geoprocessamento envolveu a classificação de imagens para geração de mapas temáticos e cruzamentos destes planos de informação em operações com banco de dados associados aos mesmos. Para geração das cartas de vulnerabilidade natural e ambiental, e avaliação e análise do impacto de possíveis vazamentos de óleo ou gás sobre esta região, foram mapeadas as características pedológicas (tipologia, textura, relevo, susceptibilidade à erosão), geológicas, geomorfológicas, tipos de vegetação, drenagens e recursos hídricos, gerando uma base de referencia para a gestão ambiental integrada e planejamento e ordenamento dessa região..

## 2. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo localiza-se na região noroeste do Estado do Rio Grande do Norte, a 260 km de Natal e 20 km da cidade de Mossoró, nos municípios de Mossoró e Areia Branca. Possui como principais vias de acesso a BR 304 e as RN's 011, 102 e 103 (Fig. 01).

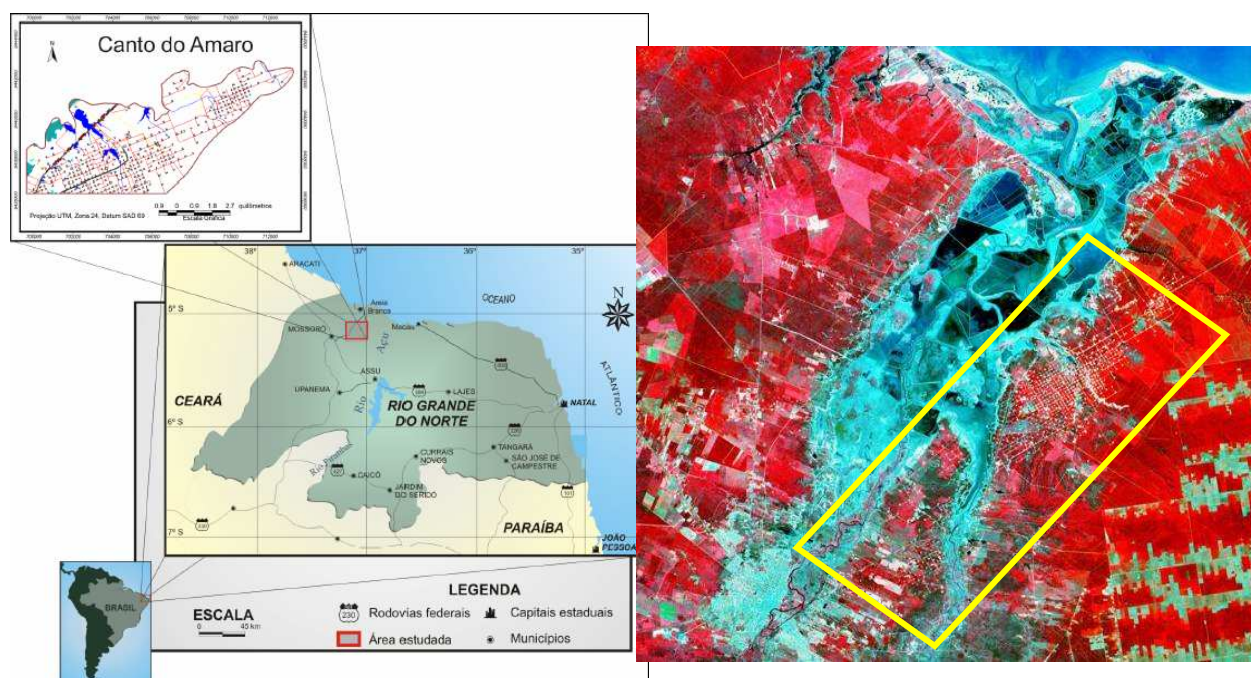


Fig. 01- Localização da área de estudo e Imagem Spot (03/2001)

## 3. MATERIAL E MÉTODOS

Neste trabalho, apresentamos as etapas metodológicas de elaboração de um Sistema de Informações Georeferenciadas (SIG) denominado SIG MARISCO, que foi elaborado com a finalidade de apoiar ações de monitoramento ambiental e suporte a planos de contingência a desastres na região dos campos petrolíferos do Canto do Amaro e Alto da Pedra (Mossoró-RN). O geoprocessamento envolveu a classificação de imagens para geração de mapas temáticos e cruzamentos destes planos de informação em operações com banco de dados associados aos mesmos. Para geração das cartas de vulnerabilidade natural e ambiental, e avaliação e análise do impacto de possíveis vazamentos de óleo ou gás sobre esta região, foram mapeadas as características pedológicas (tipologia, textura, relevo, susceptibilidade à erosão), geológicas, geomorfológicas, tipos de vegetação, drenagens e recursos hídricos, gerando uma base de referencia para a gestão ambiental integrada e planejamento e ordenamento dessa região.

Dentre os diversos resultados obtidos no projeto Marisco, neste artigo o enfoque é voltado para a metodologia utilizada para a geração de mapas de vulnerabilidade natural e ambiental, analisando-se a paisagem

de uma forma integrada e definindo áreas com maior ou menor suscetibilidade à ocupação pelas atividades petrolíferas, seguindo critérios do meio físico e da sócio-economia. Este estudo visa também avaliar a aplicabilidade desta metodologia para as condições ambientais semi-áridas do nordeste brasileiro, tomando como área-piloto os campos de exploração de petróleo do Canto do Amaro e Alto da Pedra. Para otimizar o procedimento de análise os objetivos desse trabalho foram: (i) Montagem de um banco de dados geográficos com informações temáticas geoambientais sobre a área estudada, (ii) Atualização dos mapas temáticos de geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso do solo, e (iii) Caracterização da vulnerabilidade natural e ambiental da área com relação às informações obtidas.

### 3.1 Material

Os dados temáticos de geologia, geomorfologia, vegetação e solos, foram obtidos da própria Petrobrás e em instituições e biblioteca do RN. Estes foram selecionados visando à caracterização da área quanto ao meio físico e complementação das informações dos diferentes temas aferidos. Os mapas utilizados foram: Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Norte; escala 1:500.000, DNPM/UFRN/PETROBAS/CRM, 1998, Mapa Geomorfológico do Estado do Rio Grande do Norte; escala 1:1.000.000; Projeto RADAM BRASIL, 1981, Zoneamento Agroecológico do Estado do Rio Grande do Norte, escala 1: 100.000 (EMBRAPA, 1997); Mapa de Vegetação, escala 1: 100.000 (IBAMA, 1992), e as cartas topográficas da Folha SB-24-X-B-IV (Areia Branca), Folha SB-24-X-D-I (Mossoró); escala 1:100.000; SUDENE, 1976/79; e a Folha SB-24-X-D-I-1-2 MI-897-2 (Serra do Mel); escala 1:50.000; DSG (Departamento de Serviço Geográfico) 1990.

### 3.2 Metodologias

Para a realização deste trabalho foram cumpridas as etapas que podem ser visualizadas na Figura 02, que apresenta o fluxograma metodológico, dividido em cinco grandes fases: (i) Aquisição de dados: compreende o processo de seleção de material bibliográfico e temático, (ii) Banco de dados geo-referenciados: elaboração do modelo conceitual do BD e entrada e preparação dos dados, (iii) Processamento de imagens e mapeamentos temáticos, (iv) Manipulação e análise dos dados, definição dos valores e pesos ambientais, (v) Álgebra de mapas e geração do Mapa de Vulnerabilidade Natural (vi) Avaliação do Uso e Ocupação da área e geração do Mapa de Vulnerabilidade Ambiental.

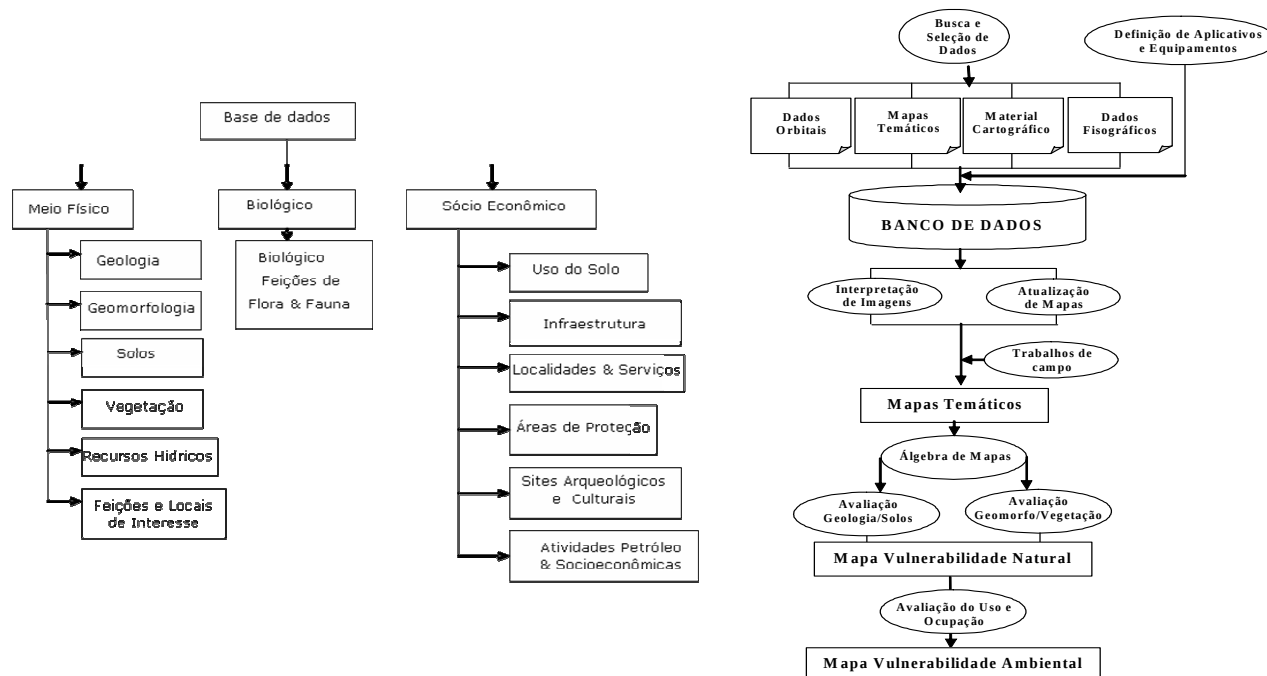


Fig. 02 – Tópicos avaliados e Fluxograma metodológico

Os diversos mapas foram georeferenciados e aferidos por pontos de controle de GPS (RTK L1/L2) em campo, e de imagens orbitais, e posteriormente foram digitalizados diretamente na tela do ArcView pelo comando edição vetorial. Estes mapas foram atualizados pela incorporação de informações que puderam ser identificadas nas imagens e trabalhos de campo, procurando-se complementá-los e ajustá-los à escala de trabalho (1:100.000). O mapa geológico foi revisado e ajustado à escala de trabalho, com base nas alterações de limites e caracterização litológica, e reambulado com alterações das classificações litológicas adotadas e novas classes

### 3.2.1 Processamento Digital de Imagens (PDI)

As etapas de trabalho de campo facilitaram a delimitação das unidades de paisagem natural e os polígonos de ação antrópica. Na delimitação das unidades de paisagem foi utilizada a composição colorida a 4R 5G 3B com interpretação e digitalização na tela

Copyright © 2007 ABPG

**Vegetação:** O mapeamento da vegetação (Fig. 04) foi efetuado através da interpretação e classificação de imagens do satélite IKONOS II. Após a interpretação das imagens foi feita a vetorização via tela de computador das unidades de vegetação identificadas. A vegetação da Caatinga domina a área de Canto do Amaro, que é formada por plantas adaptadas ao clima semi-árido ou tropical quente e seco e que sobrevive com pouca água, chegando a perder suas folhas nos períodos de maior estiagem. Apresenta fisionomia que pode distinguir em três tipos: (1) Caatinga Arbórea Arbustiva Fechada, (2) e (3) Caatinga Arbustiva Aberta, denominada também de Caatinga Secundária, pela presença abundante de leguminosas principalmente as Juremas.

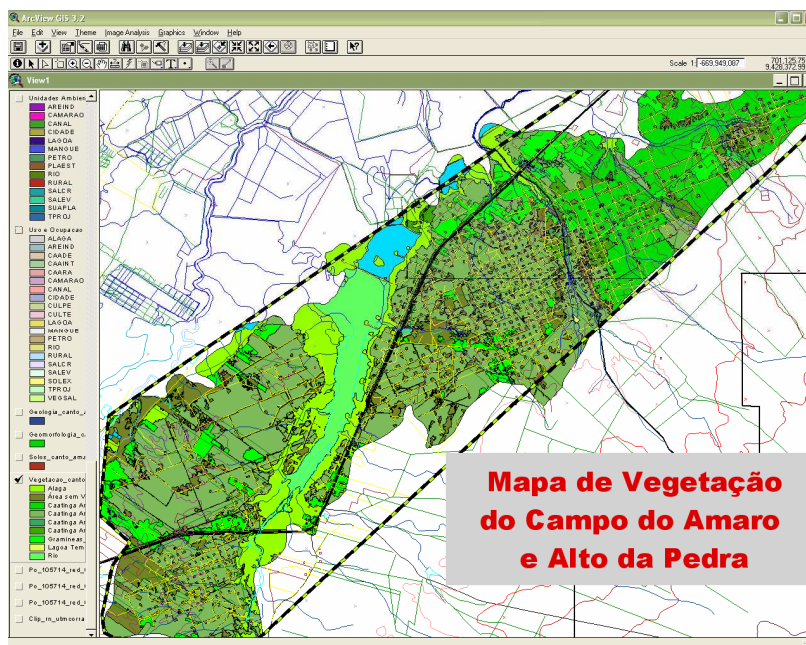


Fig. 04- Mapa da Vegetação

**Recursos Hídricos:** A figura 05 exibe o mapa hidrográfico da região do Canto do Amaro, o qual apresenta suas principais drenagens e seus açudes e lagoas existentes. Para a confecção deste mapa foram empregadas como base, as cartas topográficas da SUDENE (1982) folhas Areia Branca e Mossoró, escala de 1:100.000, de onde foram extraídas as principais drenagens, que foram posteriormente atualizadas através de imagens IKONOS II, com o mapeamento de novos açudes e lagoas, bem como para o detalhamento das drenagens.

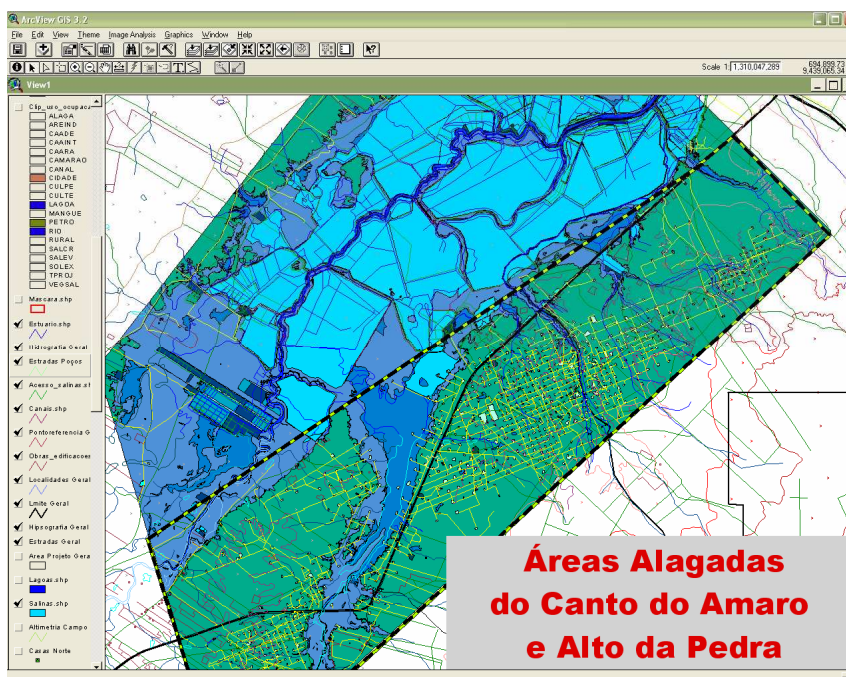


Fig. 05 – Mapa hidrográfico e Áreas Alagadas

**Solos:** Na região do Canto do Amaro foram mapeados oito tipos de solos (Fig. 06), segundo a classificação da EMBRAPA-CNPQ (1999). Os solos da área de estudo foram identificados como: (i) Latossolos Vermelho, (ii) Argissolos Vermelho Amarelos, (iii) Neossolos, (iv) Neossolos Litólicos, (v) Neossolos Quartzarênicos, (vi) Neossolos Flúvicos, (vii) Gleissolos Tiomórficos, e (viii) Cambissolos Háplicos.

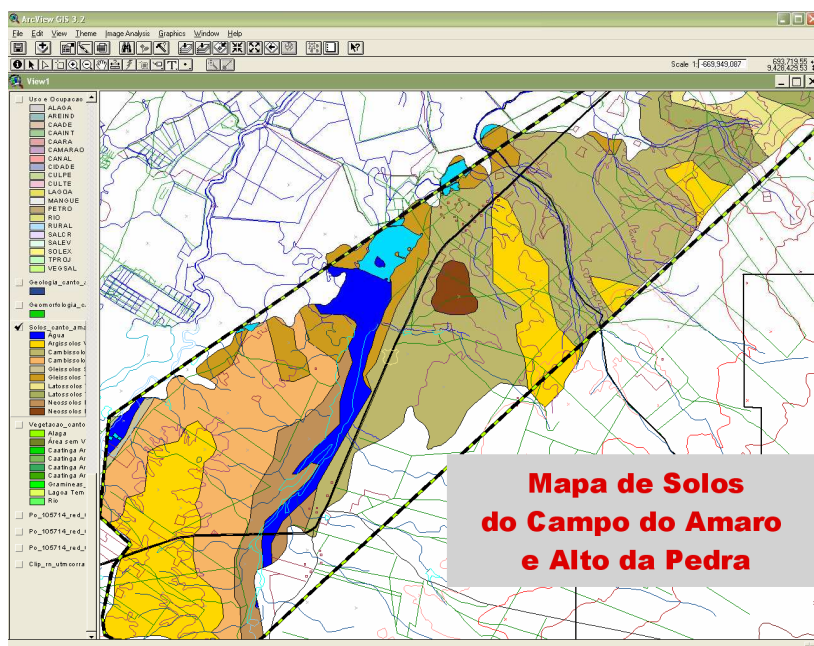


Fig. 06 - Mapa de solos

**Geomorfologia :** A modelagem geomorfológica na área de estudo, é resultante da evolução geológica (regressões e transgressões marinhas) interagindo com a ação dinâmica da natureza (clima, ventos, marés, ondas e correntes marinhas) e com a ação antrópica. O mapa geomorfológico do Canto do Amaro (Fig. 07) foi elaborado a partir do mapa geomorfológico do Estado do Rio Grande do Norte executado pelo Projeto RADAMBRASIL (1981), escala de 1:1.000.000, em estudos desenvolvidos pelo IDEMA (2002), e atualizado a partir das imagens de satélites IKONOS e controle de campo. Apresenta as seguintes unidades geomorfológicas: (i) Planície fluviomarinha (ii) Superfície pediplanada, e (iii) Formas tabulares.

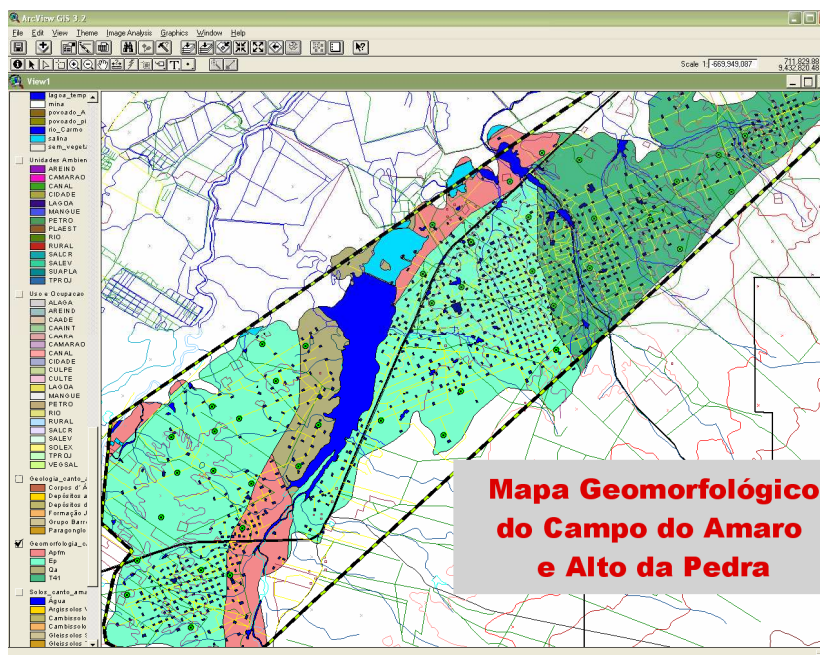


Fig. 07- Mapa Geomorfológico

**Geologia:** A área de estudo encontra-se inserida no contexto geológico da Bacia Potiguar, que pode ser dividida em quatro megassequências: Megassequência Mesozóica Rift (Formação Pendências), Grupo de Sequências Mesozóicas Transicionais (Formações Pescada e Alagamar), Grupo de Sequências Mesozóicas Fluvio marinhas Transgressivas (Formações Açú, Ponta do Mel, Ubarama e Jandaíra) e Grupo de Sequências Mesozóicas Fluvio marinhas Regressivas (Formações Guamaré, Tibau e Barreiras). Completando este último grupo de sequências estão os sedimentos Quaternários (Farias, 1997). O mapa geológico simplificado do Canto do Amaro (Fig. 08) foi elaborado a partir da compilação de dados existentes, interpretação de imagens dos satélites SPOT (1996) e IKONOS II (2002), e complementados e atualizados por trabalhos de campo. Apresenta quatro unidades geológicas: (i) Depósitos de planícies e canais de maré, (ii) Paleocascalheiras, (iii) Grupo Barreiras, (iv) Formação Jandaíra.

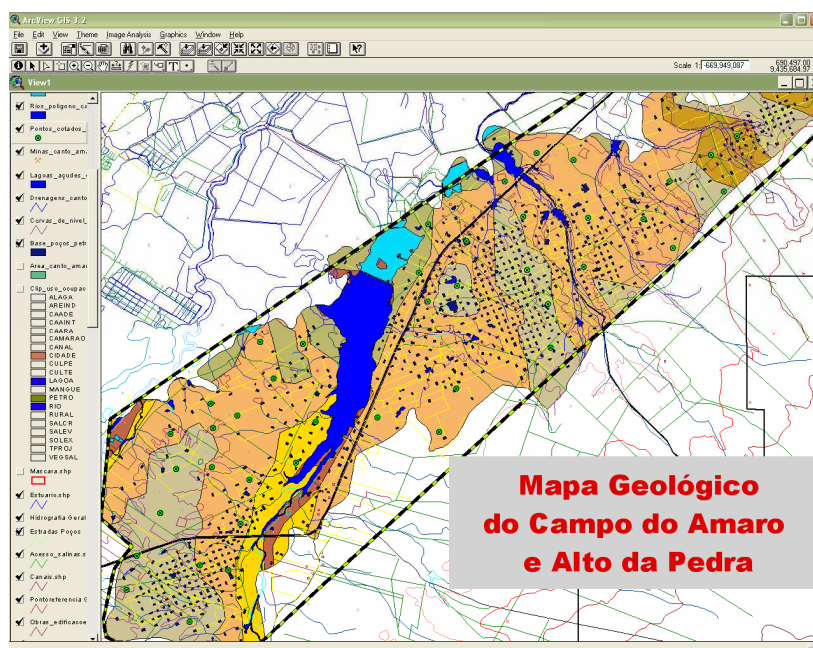


Fig. 08 - Mapa Geológico

**Uso e Ocupação do Solo:** Na elaboração do mapa de uso e ocupação atuais do solo foram utilizadas imagens de satélite IKONOS II de 2002, que são produtos de sensoriamento remoto recente e de alta resolução espacial. Para a caracterização deste uso foram adotados os procedimentos contidos nas Normas Técnicas para Mapeamento de Recursos Naturais Através de Sensoriamento Remoto (INCRA, 1995) e no Manual Técnico de Uso da Terra (IBGE, 1999). O limite de cada uso da terra, tendo a imagem IKONOS II como base, incluindo a estrutura viária e drenagem, foi interpretado e digitalizado na escala 1:2.000, no aplicativo ArcView® GIS 3.2a. A partir da interpretação visual identificaram-se 12 classes de uso (Tabela 1) gerando-se assim o mapa de uso e ocupação do solo (Fig. 09).

Tabela 01 – Classes de Uso do Solo da área do Projeto

| Classe                             | Área (ha)        | Área (%)      |
|------------------------------------|------------------|---------------|
| Caatinga arbórea fechada           | 5.316,69         | 38.96         |
| Caatinga arbustiva arbórea fechada | 952,41           | 6.98          |
| Caatinga arbustiva aberta          | 3.025,08         | 22.17         |
| Gramíneas, agrícolas               | 1.882,77         | 13.80         |
| Solo exposto                       | 893,82           | 6.55          |
| Áreas alagáveis                    | 598,17           | 4.38          |
| Açude                              | 299,52           | 2.19          |
| Lagoa                              | 13,89            | 0.10          |
| Salinas                            | 226,89           | 1.66          |
| Estação coletora                   | 42,15            | 0.31          |
| Base de poços                      | 360,18           | 2.64          |
| Povoado                            | 55,35            | 0.41          |
| <b>Total</b>                       | <b>13.666,92</b> | <b>100.00</b> |

No mapa de uso e ocupação, os polígonos de intervenção antrópica representam áreas onde a atuação humana modifica as condições naturais e podem localizar-se sobre uma única, ou várias unidades de paisagem natural, dependendo exclusivamente de suas dimensões. O conhecimento das feições dessas unidades permitem orientar as atividades a serem desenvolvidas nestas unidades. (fig. 09)

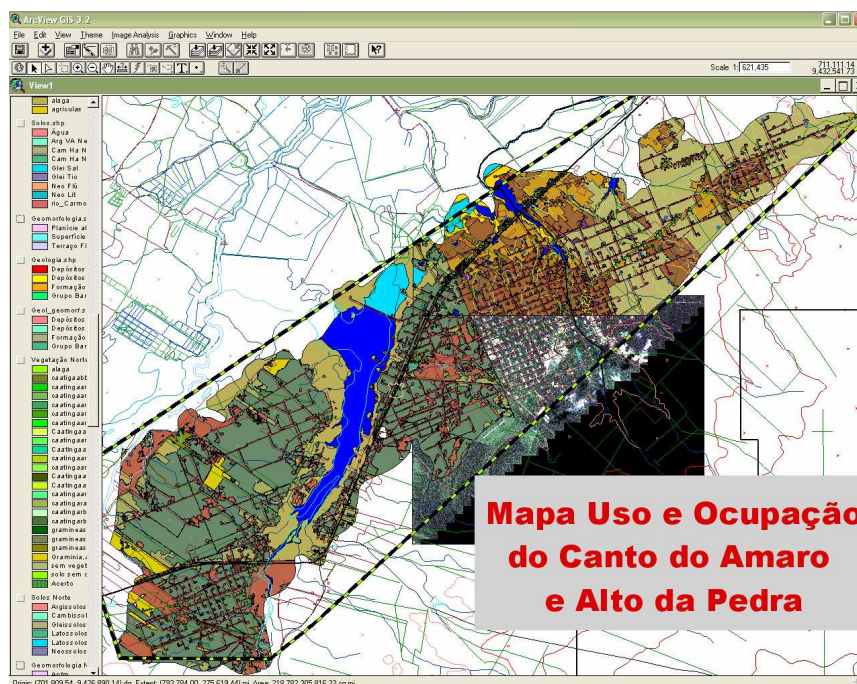


Fig. 09- Mapa Uso e Ocupação do solo

## 5. VULNERABILIDADE NATURAL E VULNERABILIDADE AMBIENTAL

A avaliação da vulnerabilidade natural e ambiental de uma área e o comportamento de um determinado produto com risco potencial de contaminação como é o caso do petróleo, constituem procedimentos de alta relevância nos estudos de avaliação de riscos ambientais. Neste enfoque, os monitoramentos geoambientais com uso do geoprocessamento, em áreas de exploração de petróleo têm merecido destaque de sua aplicação e resultados, pelo fato de utilizarem a interface de um banco de dados ambientais digital e relacional juntamente com uma classificação que integra diversas variáveis temáticas por meio das operações lógicas.

### 5.1 Álgebra de Mapas

Para se definir as Vulnerabilidades Natural e Ambiental da área de estudo, a metodologia que foi aplicada neste trabalho foi modificada da utilizada por Crepani et al. (1996) no ZEE da Amazônia Legal (baseado no conceito de Ecodinâmica de Tricart, 1977) e adaptado de Grigio, 2003, e consiste na integração lógica dos diferentes dados disponíveis, conhecendo-se as características do meio físico, biótico e ambiental. Para a atribuição dos valores de cada classe temática, foram estabelecidos alguns critérios para a definição de suas maiores ou menores vulnerabilidades. Esses critérios dependem da análise do técnico em campo. No contexto da Geologia, p. ex., entre outros fatores, leva-se em conta a resistência à erosão e o grau de coesão das rochas. No caso dos solos, a resistência ao processo de erosão e sua capacidade de adsorção. Na Geomorfologia, a influência do relevo no processo de erosão e na Vegetação, a cobertura vegetal e sua ação na proteção da paisagem. (Fig. 10)



Fig. 10- Etapas de cruzamentos de mapas

O cruzamento dos mapas foi realizado utilizando-se o módulo Geoprocessing Wizard do software ArcView, que possibilita o cruzamento entre dois mapas. Primeiramente, foi realizado o cruzamento entre os mapas de unidades geomorfológicas e de geologia simplificada, e posteriormente entre os mapas de associação de solos e de vegetação. Na seqüência, foram cruzados os dois mapas resultantes dos cruzamentos anteriores e calculou-se a média aritmética dos valores de vulnerabilidade de cada classe. O resultado da média aritmética foi distribuído em cinco classes de vulnerabilidade natural.

No mapa de vulnerabilidade Natural as unidades de paisagem podem ser consideradas como formas que agrupam certas associações de feições naturais. Para se analisar uma unidade de paisagem natural é necessário conhecer sua gênese, constituição física, forma e estágio de evolução, bem como o tipo da cobertura vegetal que sobre ela se desenvolve. Estas informações são obtidas pela Geologia, Pedologia, Geomorfologia e Fitogeografia. Este mapa é o resultado da interação dos dados preexistentes para que cada unidade de paisagem seja caracterizada quanto à sua morfodinâmica.

Para se obter um mapa de vulnerabilidade ambiental (definida por Tagliani, 2002 como a maior ou menor susceptibilidade de um ambiente a um impacto potencial provocado por um uso antrópico qualquer), que melhor representasse as peculiaridades da Área do Canto do Amaro, foi aplicado o método de ponderação de fatores, que permite a possibilidade de compensação entre os fatores através de um conjunto de pesos que indicam a importância relativa de cada fator. O grau de vulnerabilidade estipulado a cada classe foi distribuído em uma escala de 1,0 a 3,0, com intervalos de 0,5 (Tabela 02), e nesta etapa, os dados temáticos e numéricos (geo-campos temáticos e numéricos) são tratados de maneira que possam conter os valores de cada classe avaliados anteriormente. Para a obtenção do mapa de vulnerabilidade ambiental foi realizado o cruzamento entre o mapa de vulnerabilidade natural e o mapa de uso e ocupação do solo (que considera o grau e tipo de antropização encontrados na área). Após o cruzamento, calculou-se a média aritmética dos valores de vulnerabilidade de cada classe, sendo distribuídos em cinco classes de vulnerabilidade ambiental: (i) Baixíssima - Menor ou igual a 1,3; (ii) Baixa 1,4 - 1,7; (iii) Média 1,8 - 2,2; (iv) Alta 2,3 - 2,5 e (v) Altíssima  $\geq 2,6$  (Fig. 11).

| MAPA TEMÁTICO / CLASSE                                           | GRAU DE VULNERABILIDADE |
|------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| <b>GEOLOGIA</b>                                                  |                         |
| Formação Jandaíra                                                | 1,5                     |
| Formação Barreiras                                               | 2,5                     |
| Depósito de Planície de Maré                                     | 2,0                     |
| Paleocascalheiras                                                | 2,5                     |
| <b>GEOMORFOLOGIA</b>                                             |                         |
| Superfície de pediplanada                                        | 1,0                     |
| Planície fluvio marinha                                          | 2,5                     |
| Formas Tabulares                                                 | 2,5                     |
| <b>ASSOCIAÇÃO DE SOLOS</b>                                       |                         |
| Argissolos Neossolos Litólicos e Quartzarenicos                  | 1,5                     |
| Latossolos Argissolos                                            | 1,5                     |
| Neossolos Litólicos                                              | 2,5                     |
| Cambissolos Háplicos Neossolos Fluvicos                          | 2,0                     |
| Gleissolos Tiomórficos                                           | 2,0                     |
| <b>VEGETAÇÃO</b>                                                 |                         |
| Vegetação de caatinga arbórea arbustiva fechada                  | 1,0                     |
| Vegetação de caatinga arbustiva arbórea fechada                  | 1,5                     |
| Vegetação de caatinga arbustiva aberta                           | 2,0                     |
| Outro tipo de vegetação (gramínea, agrícola, pioneiras em geral) | 2,5                     |
| Áreas alagáveis                                                  | 1,0                     |
| Sem vegetação                                                    | 3,0                     |
| <b>USO E OCUPAÇÃO DO SOLO</b>                                    |                         |
| Áçude                                                            | 2,0                     |
| Lagoas                                                           | 2,0                     |
| Vegetação de Caatinga arbustiva aberta                           | 1,5                     |
| Vegetação de Caatinga arbórea arbustiva fechada                  | 1,0                     |
| Vegetação de Caatinga arbustiva arbórea fechada                  | 1,0                     |
| Salinas                                                          | 1,5                     |
| Povoado                                                          | 3,0                     |
| Cultura temporária                                               | 2,5                     |
| Áreas alagáveis                                                  | 1,0                     |
| Área dos poços de extração de petróleo                           | 3,0                     |
| Estações coletoras                                               | 3,0                     |

Tab. 02 - Grau de vulnerabilidade estipulado a cada classe (adaptado de Grigio 2003, apud Motta et al. 1999)

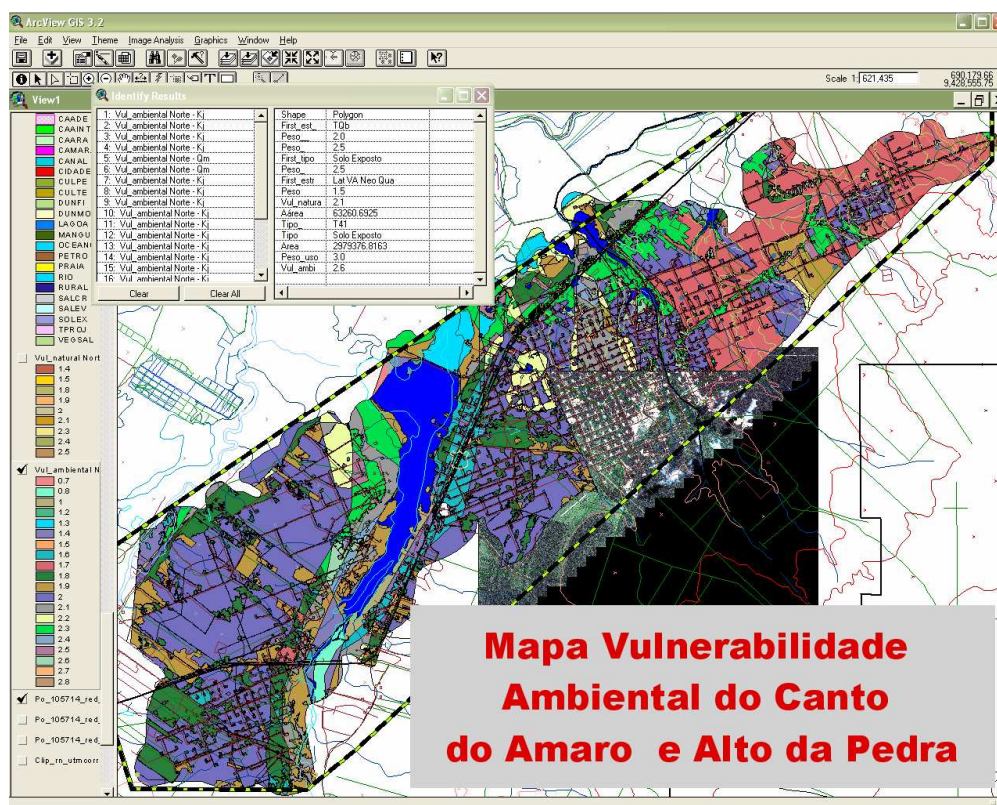


Fig. 11 – Mapa de Vulnerabilidade Ambiental da área do Canto do Amaro (RN)

## 6. CONCLUSÃO

As técnicas de PDI foram bastante úteis para a identificação das unidades de paisagem. A existência de trabalhos com aplicação da mesma metodologia para a obtenção das cartas de vulnerabilidade em áreas semelhantes (Crepani *et al.*, 1996; Medeiros, 1999; Grigio 2003) facilitou e otimizou o trabalho. O mapa de vulnerabilidade ambiental foi possível ser elaborado em função da existência de uma base consistente de dados digitais georreferenciados os quais forneceram os elementos temáticos necessários para a análise. A metodologia para a obtenção da carta de vulnerabilidade natural e ambiental se mostrou eficaz, no que diz respeito aos conceitos, ferramentas, técnicas e aplicabilidade. Esse tipo de produto poderá ser utilizado tanto para um ordenamento territorial ambiental centrado em características físicas e bióticas, como também para elaboração de planos de contenção e remediação a desastres nesta área e em outras regiões semelhantes e frágeis, sob o ponto de vista ambiental do semi-árido nordestino.

Ambientalmente analisando-se os resultados pode-se aferir que paisagem da área de estudo é considerada peculiar devido às suas características semi-áridas. Geologicamente, grande parte da região se apresenta instável aos processos de erosão e perda de solo devido as rochas e solos ali presentes serem pouco resistentes ao intemperismo. As formas de relevo apresentam uma forte pediplanação que resulta em largas planícies com esparsos resíduos sob a forma de morros e elevações. Em diferentes amplitudes altimétricas e interfluviais, o solo vem sendo perdido ora devido aos processos naturais, ora pela falta de cobertura vegetal. Esta última é intensificada a partir da intervenção humana e ação do clima, principalmente da irregularidade e intensidade da precipitação pluviométrica. A intervenção antrópica tem crescido, principalmente pelas culturas agropastoris e pelas atividades de carcinicultura e exploração de petróleo, sendo as áreas estuarinas e de planície aluvionar as que mais sofrem a degradação do ambiente.

A análise das aplicações práticas de gestão ambiental permitirá verificar sua adequação às condições locais e regionais e identificar as dificuldades, limitações e conseqüências de sua implementação na gestão da área petrolífera do Canto do Amaro, podendo contribuir positivamente para a preservação dos recursos ambientais e prevenção de acidentes. O mapa interpretativo poderá se tornar prescritivo, indicando, além das áreas mais vulneráveis ambientalmente, e aquelas mais adequadas ao desenvolvimento de projetos específicos. As possibilidades de inter-relações entre este mapa de vulnerabilidade ambiental e outras informações de interesse específico são inúmeras, fornecendo resultados espacializados e georreferenciados, tornando-se uma ferramenta importante e útil de apoio à decisão.

## 7. AGRADECIMENTOS

Nossos agradecimentos aos pesquisadores e instituições que apoiaram este estudo, com destaque para ANP, CTPetro, FINEP, CNPq e UFRN.

## 8. REFERÊNCIAS

- CÂMARA G.; BARBOSA C. C.; CORDEIRO J. P.; LOPES E.; FREITAS U. M.; LUCENA I. 2001 Álgebra de Mapas –**INPE-8566-PRE/4310**, São José dos Campos, 30pg.
- CREPANI, E.; MEDEIROS, J.S.; AZEVEDO, L.G.; DUARTE, V.; HERNANDEZ, P.; FLORENZANO, T. 2001. Curso de Sensoriamento Remoto Aplicado ao Zoneamento Ecológico-Econômico. **INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**, São José dos Campos 124 p. (INPE-8454-RPQ/722).
- EMBRAPA-CNPS. 1999 Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: **Embrapa-SPI; Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS**, 412 p., il.
- FARIAS, P. R. C. 1997. Geologia de superfície da área de detalhe de Macau-RN. Relatório Final. **Petrobras/GEXP/GELAB**, Relatório Interno, 76 p
- GRIGIO, A. M. 2003. Aplicação do Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informação Geográfica na Determinação da Vulnerabilidade Natural e Ambiental do Município de Guamaré (RN): Simulação de Risco às Atividades da Indústria Petrolífera. Centro de Ciências Exatas e da Terra. **Programa de Pós Graduação em Geodinâmica e Geofísica**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Dissertação de Mestrado. 222p.
- IDEMA. 2002. Diagnóstico e vulnerabilidade ambiental dos estuários do litoral norte e seus entornos. Instituto de Desenvolvimento Econômico e Meio Ambiente - IDEMA. Projeto de Zoneamento Ecológico-Econômico dos estuários do Estado do Rio Grande do Norte e dos seus entornos, **Sugerc/Idema**. Relatório Final. Natal.
- RADAMBRASIL. 1981. Levantamento de Recursos Naturais. **Ministério das Minas e Energia**, 23, Folha SD-24-25/ Jaguaribe -Natal.
- TRICART, J. 1977. Ecodinâmica. Rio de Janeiro: **IBGE-SUPREN**. (Recursos Naturais e Meio Ambiente).

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo