



**Copyright 2004, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás - IBP**

Este Trabalho Técnico Científico foi preparado para apresentação no 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, a ser realizado no período de 2 a 5 de outubro de 2005, em Salvador. Este Trabalho Técnico Científico foi selecionado e/ou revisado pela Comissão Científica, para apresentação no Evento. O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pelo IBP. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões do Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, Sócios e Representantes. É de conhecimento e aprovação do(s) autor(es) que este Trabalho será publicado nos Anais do 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás

---

## **VULNERABILIDADE AMBIENTAL DA ÁREA DE EXPLORAÇÃO DE ÓLEO E GÁS DE ALTO DA PEDRA (RN)**

Cynthia R. Duarte<sup>1</sup>, Reinaldo A. Petta<sup>1</sup>, José Macio R. Teódulo<sup>1</sup>, Nilton L. da Silva<sup>1</sup>

<sup>1</sup> LAGEOMA, DG-UFRN, Caixa Postal 1639 – Natal – RN – 59078-970,  
cynthia@geologia.ufrn.br, petta@geologia.ufrn.br

**Resumo** – Este trabalho discute a vulnerabilidade ambiental e o uso do solo na área de Alto da Pedra, bacia Potiguar (RN) a partir da análise multitemporal de imagens de sensores remotos orbitais e da elaboração de um Sistema de Informação Geográfica (SIG). Para tanto foi necessário o levantamento de dados cartográficos e cadastrais, com os temas geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso e ocupação do solo, a partir dos quais foi possível obter os mapas de vulnerabilidade natural e ambiental do campo petrolífero de Alto da Pedra, município de Mossoró (RN), possibilitando assim uma análise mais complexa da área estudada.

**Palavras-Chave:** Sistema de informação geográfica, Sensoriamento remoto, Vulnerabilidade ambiental, Alto da Pedra

**Abstract** – This paper discuss the environmental vulnerability and land use of Alto da Pedra area, Potiguar basin (RN), by multi-temporal analyses using remote sensing images and geographical information system (GIS). The cartographic bases was establish by the data of geology, geomorphology, soil, vegetation and land use, from which it was possible to obtain the environmental and natural vulnerability maps of the Alto da Pedra petroleum field, making possible a more complex spatial analysis of this area.

**Keywords:** Geographical information system, Remote sensing, Environmental vulnerability, Alto da Pedra

## 1. Introdução

A Petrobras, nas duas últimas décadas, aumentou consideravelmente suas atividades exploratórias na Bacia Potiguar, de onde se extraem cerca de 8% do petróleo brasileiro, aumentando também suas obras de infra-estrutura e de apoio logístico, principalmente no que diz respeito aos projetos de implantação de dutos de gás e óleo, nos campos de exploração, em particular na região de Mossoró, onde se concentram dois grandes campos petrolíferos - Canto do Amaro e Alto da Pedra.

Tentando monitorar e prevenir esses desastres que trouxeram enormes prejuízos para o meio ambiente, as empresas petroleiras aumentaram muito as medidas preventivas e a implementação de recursos técnicos avançados que visam impedir que ocorram desastres de tal magnitude. A Gestão Ambiental em regiões de atividades exploratórias de petróleo tem se tornado uma necessidade tão vital quanto à descoberta de novas reservas.

Considerando a vulnerabilidade e os riscos ligados às atividades de extração, transporte e tratamento do petróleo, torna-se premente a necessidade de desenvolver um estudo multidisciplinar voltado ao conhecimento das condições físico-ambientais, definindo a vulnerabilidade e os riscos decorrentes do sistema exploratório de petróleo e gás, visando à integração das informações em um ambiente SIG que caracterize as condições ambientais vigentes, apoiando na tomada de decisões em caso de acidentes e que forneça padrões de referência para medidas mitigadoras após possíveis desastres ambientais.

A atual fronteira científica nesta área de investigação são os Sistemas de Informações Georeferenciadas (SIG), criados para realizar o monitoramento e o planejamento da distribuição espacial dos diversos objetos relacionados às atividades exploratórias, ao mesmo tempo em que, utilizando modelagem matemática e quantificação de parâmetros relacionados ao ambiente geográfico, modela e ajuda a prevenir acidentes.

O objetivo principal deste estudo é a identificação, mapeamento e interpretação do uso e ocupação do solo e conhecimento da vulnerabilidade ambiental das áreas de Alto da Pedra – RN, no sentido de subsidiar as ações de monitoramento e gestão ambiental destas áreas, obtendo dados a partir de sensores remotos orbitais, associados as técnicas de Processamento Digital de Imagens, e a integração desses dados em ambiente SIG.

## 2. Área de estudo

A área de estudo está localizada no noroeste do estado do Rio Grande do Norte (Fig. 01), distando cerca de 260 km de Natal, no município de Mossoró. O acesso à área se dá pela BR-304 e as rodovias estaduais RN-103, RN-102 e RN-111 cortam a área.



Figura 01: Mapa de localização do campo de Alto da Pedra – RN e imagem SPOT 4 (03/2001).

## 3. Feições Geo-Ambientais da área

### 3.1 – Geologia da área

A Bacia Potiguar está relacionada com uma série de bacias interiores de idade neocomiana, comportando os sistemas de “*Rifts*” no nordeste Brasileiro, e apresenta uma área de 48.000 km<sup>2</sup>, sendo que 21.500 km<sup>2</sup> correspondem à parte emersa da mesma e os restantes à plataforma e talude continentais. O mapa Geológico simplificado de Alto da Pedra (Fig. 02) foi elaborado a partir da compilação de dados existentes, interpretação de imagens Spot e Ikonos e trabalhos de campo. Apresenta quatro unidades geológicas: (i) Depósitos de planícies e canais de maré (Qm) com ocorrência de pelitos arenosos, carbosos ou carbonáticos; (ii) Depósitos aluvionares (TQc) com ocorrência de areias e cascalhos, intercalações pelíticas, associadas aos sistemas fluviais atuais; (iii) Grupo Barreiras (TQb) com ocorrência de arenitos finos a médios, ou conglomeráticos, com intercalações de siltitos e argilitos, associados aos sistemas fluviais; e

(iv) Formação Jandaíra (Kj), com a ocorrência de calcarenitos e calcilitos bioclásticos, cinza claros e amarelados, com níveis evaporíticos na base, depositados em extensa planície de maré e numa plataforma rasa, carbonática.

### 3.2 – Aspectos Geomorfológicos

O modelamento geomorfológico 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. Na compartimentação do relevo (Fig. 03), foi possível identificar três unidades geomorfológicas: (i) terraços flúvio-marinhos, (ii) superfícies de aplainamento, e (iii) planície aluvionar. Assentados sobre a superfície dos calcários da Formação Jandaíra, são marcantes as superfícies de tabuleiros costeiros, da Serra do Carmo e Serra Vermelha (Formação Barreiras), vertentes, terraços flúvio-marinhos e estuarinos, planícies de inundação e de maré do rio Apodi-Mossoró, as depressões ocupadas pelas lagoas permanentes e intermitentes, e as planícies aluvionares de pequenos riachos que dissecam a área de Alto da Pedra, RN.

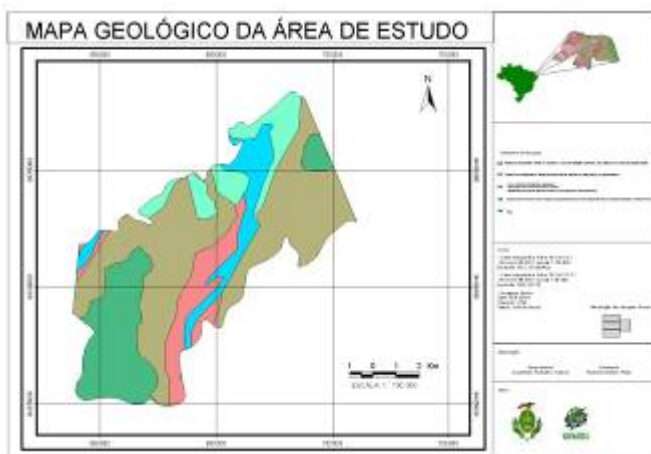


Figura 02: Mapa geológico simplificado da área de Alto da Pedra.



Figura 03: Mapa de unidades geomorfológicas de Alto da Pedra.

### 3.3 – Aspectos Pedológicos

Os solos da área de estudo são em sua maioria provenientes de associações dos relevos plio-pleistocenos da Formação Barreiras (Fig. 04). Destacam-se: Cambissolos Háplicos e Neossolos Flúvicos; Argissolos vermelhos-amarelos, Neossolos Litólicos, Neossolos Quartzizênicos; Cambissolos Háplicos e neossolos Litólicos; Argissolos vermelhos-amarelos, Neossolos Litólicos, Neossolos Quartzizênicos; Gleissolos Sálcos; Gleissolos Tiomorficos. Os solos das margens dos rios, os Neossolos Flúvicos, sujeitos a inundações, são em geral de aptidão agrícola regular para níveis de manejo primitivo, semi-desenvolvido a desenvolvido. (IDEMA 1999).

### 3.4 – Cobertura vegetal

A cobertura vegetal da área é representada por indivíduos de diferentes espécies, tendo como ponto em comum a adaptação ao déficit hídrico. As principais unidades de vegetação encontradas na área são: caatinga hiperxerófila, carnaubal e vegetação halófila (Fig. 05).

Com relação à cobertura vegetal, a caatinga abrange todo o contexto do semi-árido, classificada nos tipos caatinga arbustiva-arbórea espaçada, caatinga arbustiva-arbórea fechada e caatinga arbórea fechada.

A ação antrópica sobre a vegetação é nítida, com aspecto de enormes áreas sem cobertura vegetal, registrando núcleos de degradação ambiental, e a presença de uma vegetação rala de gramíneas e legumináceas completamente ausente no período das estiagens.

O emprego de técnicas de processamento digital de imagens empregado na imagem SPOT 4 HR VIR, de 1996, possibilitou a diferenciação da vegetação por NDVI (Índice de diferenciação da vegetação normalizada) (Fig. 06) onde a vegetação de Caatinga Aberta reflete cores escuras acinzentadas, mostrando que a vegetação no intervalo do infravermelho possui um alto grau de adsorção da clorofila. As áreas sem vegetação (talude de poços, vias de acesso, piçarras e áreas de degradação ambiental) refletem cores esbranquiçadas, os corpos d'água, refletem uma cor negra também evidenciando a alta absorção da água no intervalo do infravermelho. A vegetação rasteira (Gramíneas e culturas temporárias), mostraram tonalidades acinzentadas esbranquiçadas, além da característica forma geométrica.



Figura 04: Mapa de associação de solos de Alto da Pedra.

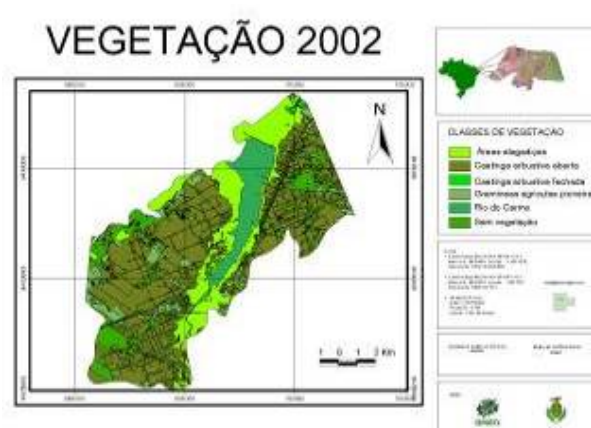


Figura 05: Mapa de cobertura vegetal de 2002.

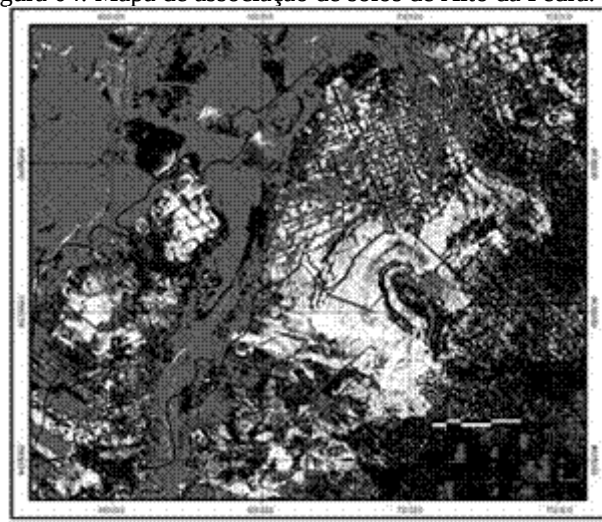


Figura 06: NDVI de imagem SPOT 4

### 3.5 – Hidrografia

A área de estudo está situada próxima do rio Apodi-Mossoró, e a sua bacia hidrográfica abrangem aproximadamente 18.100 Km<sup>2</sup>. Suas nascentes estão situadas a sudoeste do estado do Rio Grande do Norte, e o curso principal do rio são de 200 km seguindo em direção à sua foz, no Oceano Atlântico. A vazão do rio segundo o plano diretor da cidade de Mossoró, é de cerca de 360 milhões de m<sup>3</sup>/ano, e seu escoamento é iniciado no mês de março, atingindo 74 milhões de m<sup>3</sup>, apresentando o seu volume máximo em abril, atingindo 140 milhões de m<sup>3</sup>, para diminuir drasticamente nos meses subsequentes até anular estes valores nos meses de novembro a fevereiro. Esses dados vão caracterizar o rio Apodi-Mossoró como de regime temporário em seu alto e médio curso, e apresentando-se perene em seu baixo curso, em função da presença de pequenas represas no município de Governador Dix-Sept Rosado.

A influência flúvio-marinha que caracteriza o rio em sua foz como verdadeiro estuário, permanece por cerca de 25-30 km, alcançando as vizinhanças da cidade de Mossoró.

Este rio cruza a cidade na direção SW/NE, de aspecto sinuoso com diversas lagoas nas proximidades de suas margens. A várzea do rio Apodi-Mossoró possui largura variável entre 500 a 1.000 metros, estreitando em direção ao centro da cidade de Mossoró.

### 3.6 – Hidrogeologia

De acordo, com o informativo municipal do IDEMA (1999) a província hidrogeológica da região de Mossoró é composta por aquíferos com constituições litológicas distintas: *Aquífero Jandaíra* - é composto predominantemente por calcários, apresentando água geralmente salobra e uma composição química favorável à pequena irrigação; *Aquífero Açu* - ocorre numa faixa que acompanha a borda da Bacia Potiguar, apresentando uma espessura média de 150 m na área de afloramento. As águas em geral são boas, podendo ser utilizadas para consumo humano, animal, industrial e outros, não havendo portanto limitações quanto à qualidade; *Aquífero Barreiras* - apresenta-se confinado, semi-confinado e livre em algumas áreas. Os poços construídos mostram capacidade máxima de vazão, variando entre 5 a 100 m<sup>3</sup>/h, com águas de excelente qualidade química, com baixos teores de sódio e podendo ser utilizada praticamente para todos os fins; *Aquífero Aluvião* - apresenta-se disperso, sendo constituído pelos sedimentos

geralmente arenosos depositados nos leitos e terraços dos rios e riachos de maior porte. A qualidade da água geralmente é boa e pouco explorada.

### 3.7 – Uso e ocupação do solo

Para o cruzamento, interpretação e análises que geraram o mapa de uso e ocupação do solo (Fig. 07), foram utilizadas as Imagens de satélite Spot HRVIR de agosto de 1996, imagens do satélite IKONOS II de julho de 2002, e a extensão Arc View Spatial Analyst, versão 1.1, do software Arc View GIS versão 3.2, empregando a metodologia de análise multitemporal adaptada de Grigio (2003). Esta técnica possibilita o cruzamento de dados de diferentes planos de informação, tendo como resultado uma tabela, cujas colunas representam as classes mapeadas de um ano e as linhas representam as classes mapeadas de outro ano. A tabela 1 apresenta as classes de uso e ocupação do solo identificadas na área de estudo, bem como sua área de ocorrência (em porcentagem e ha.).



Figura 07: Mapa de uso e ocupação do solo de Alto da Pedra, elaborado a partir da interpretação de imagens IKONOS II de 2002

Tabela 1: Classes de uso e ocupação do solo na área de estudo.

| Classe de uso                      | Área (ha.) | Área (%) | Classe de uso       | Área (ha.) | Área (%) |
|------------------------------------|------------|----------|---------------------|------------|----------|
| Açude                              | 8.29       | 0.10     | Gramíneas pioneiras | 409.86     | 5.07     |
| Agrícolas                          | 214.88     | 2.66     | Lagoas temporárias  | 2.91       | 0.04     |
| Alaga                              | 1322.73    | 16.37    | Mina                | 7.42       | 0.09     |
| Base Poços Alto da Pedra           | 78.42      | 0.97     | Povoado Amaro       | 2.47       | 0.03     |
| Base Poços Canto do Amaro          | 39.51      | 0.49     | Povoado Piquiri     | 0.45       | 0.01     |
| Caatinga arbustiva aberta          | 3916.98    | 48.47    | Rio Apodi           | 1.05       | 0.01     |
| Estação central                    | 10.64      | 0.13     | Rio Carmo           | 678.36     | 8.39     |
| Estação coletora de Alto da Pedra  | 1.70       | 0.02     | Salina              | 138.20     | 1.71     |
| Estação coletora de Canto do Amaro | 7.40       | 0.09     | Sem vegetação       | 1240.22    | 15.35    |

## 4. Vulnerabilidade natural e ambiental

A primeira etapa do trabalho consistiu na análise individual de cada uma das informações contidas nos mapas temáticos. O conjunto de todas essas informações foi integrado para gerar e armazenar uma base de dados georreferenciados com o software ArcView 3.2, possibilitando com isso uma análise sistemática de cada elemento dos mapas temáticos. Desta forma, as informações armazenadas, podem ser gerenciadas para dar início ao cruzamento dos dados que resulta nos mapas de vulnerabilidade natural e vulnerabilidade ambiental.

O resultado dos cruzamentos dos mapas temáticos deste trabalho possibilitou a criação do mapa de vulnerabilidade natural (Fig. 08). Os mapas que foram utilizados para a confecção do mapa de vulnerabilidade natural são: mapa geomorfológico, mapa unidades geológicas, mapa de solos e vegetação. Com base no mapa de vulnerabilidade natural realizou-se um segundo cruzamento que resultou no mapa de Vulnerabilidade Ambiental (Fig. 09). O cruzamento dos mapas foi baseado no conceito de estabilidade de unidade considerando-se a análise ecodinâmica descrita por Tricart (1977).

A integração dos dados temáticos foi feita segundo um modelo utilizado por Barbosa (1997), Crepani et al, (1996) e Grigio (2003). O cruzamento dos mapas foi realizado no software ArcView GIS 3.2, utilizando-se, para tanto, o módulo *Geoprocessing Wizard*, que possibilita o cruzamento entre dois mapas. Primeiramente, foi realizado o cruzamento entre os mapas de unidades geomorfológicas e de geologia simplificada. Posteriormente entre os mapas de associação de solos e de vegetação. Na sequência, foram cruzados os dois mapas resultado dos cruzamentos anteriores e calculando-se a média aritmética dos valores de vulnerabilidade de cada classe. O resultado pode ser visto na figura 08 que apresenta o mapa de vulnerabilidade ambiental da área.

Para o mapa de vulnerabilidade ambiental, foram estabelecidas 6 categorias de vulnerabilidade, com o intervalo de pesos descritos a seguir: Áreas sem classificação (0,0 – 0,9), Vulnerabilidade Muito Baixa (1,0 – 1,3), Baixa (1,4 – 1,7), Média (1,8 – 2,2), Alta (2,3 – 2,5) Muita Alta (2,6 – 3,0). Este mapa foi gerado a partir do cruzamento entre o mapa de uso e ocupação e o de vulnerabilidade natural. Foi utilizado para tal a extensão geoprocessing wizard do software Arcview 3.2. Tomando como base a análise do mapa de vulnerabilidade ambiental as categorias definidas mostram que, de uma maneira geral, a vulnerabilidade da área de estudo encontra-se com valores entre média a muito alta. As áreas com maior pressão antrópica, correspondem à planície de inundação do rio do Carmo, no Campo de Alto da Pedra, provavelmente, em consequência da extração de óleo e gás praticamente às margens deste rio citado anteriormente.

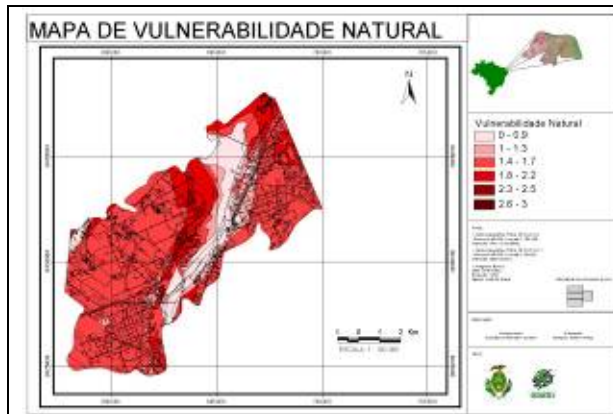


Figura 08: Mapa de vulnerabilidade natural da área de Alto da Pedra.

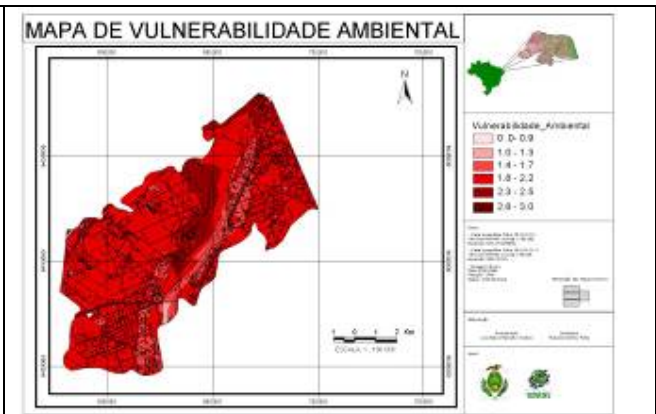


Figura 09: Mapa de vulnerabilidade ambiental da área de Alto da Pedra.

## 5. Conclusões

A utilização das técnicas de geoprocessamento com destaque ao sensoriamento remoto, técnicas de processamento digital de imagens integradas a um sistema de modelagem e análise do sistema de informação geográfica (SIG) mostrou ser um conjunto de ferramentas que forneceram excelentes respostas na detecção das mudanças geoambientais ocorridas na área de estudo. Na interpretação da evolução do uso e ocupação do solo no campo de extração de óleo e gás de Alto da Pedra, as imagens IKONOS conferiram riqueza de detalhes à análise dos padrões ambientais, onde puderam ser evidenciados os diferentes elementos naturais e artificiais, que compõem a paisagem da área estudada. As informações que foram extraídas da geologia, hidrografia, topografia, vegetação, pedologia, e uso e ocupação do solo, e que vieram a constituir os diversos mapas temáticos, permitiram que se fizesse a análise da vulnerabilidade e da susceptibilidade ambiental da área de estudo.

Estes referidos mapas representam ferramentas indispensáveis em estudos ambientais para a gestão e monitoramento de recursos naturais, principalmente em uma área tão gravemente impactada e com forte potencial para a ocorrência de acidentes ambientais.

## 6. Referências

- BARBOSA, C.C.F. Álgebra de mapas e suas aplicações em Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento. Programa de Pós-graduação em Sensoriamento Remoto. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São Paulo, Dissertação de Mestrado, 126p, 1997.
- CREPANI, E. *et al.* Curso de Sensoriamento Remoto Aplicado ao Zoneamento Ecológico-Econômico. São José dos Campos. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1996.
- GRIGIO, A.M. Aplicação do sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica na determinação da vulnerabilidade natural e ambiental do município de Guamaré (RN): simulação de risco as atividades da indústria petrolífera. Programa de Pós Graduação em Geodinâmica e Geofísica. CCET. UFRN. Dissertação de Mestrado. 222pp., 2003.
- IDEMA – Instituto de Desenvolvimento Econômico e Meio Ambiente. Informativo municipal: Mossoró, Vol.05 p.1-14. Título da pesquisa disponível em <http://www.idema.rn.gov.br>, 1999.
- TEÓDULO, J.M.R. Geoprocessamento na análise geoambiental e controle, recuperação e mitigação de impactos ambientais nas áreas dos campos de extração de óleo e gás do Canto do Amaro e Alto da Pedra, município de Mossoró – RN. Programa de Pós-graduação em Geociências. CCET. UFRN. Dissertação de mestrado. 69 pp., 2004.
- TRICART, J. *Ecodinâmica*. Rio de Janeiro, 91 p., 1977.