



Alterações Climáticas Relacionadas à Exploração Energética nas Áreas de Conservação e nos Geossistemas da Bacia Potiguar
Climate Change Related to Energy Exploration in Conservation Areas and in the Geosystems of Potiguar Basin

Agassiel de Medeiros Alves¹ & Venerando Eustáquio Amaro²

¹Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Ciências Exatas e da Terra, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia do Petróleo, Avenida Senador Salgado Filho 3000 - Campus Universitário, 59078-970, Natal - RN, Brasil

²Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia do Petróleo, Avenida Senador Salgado Filho 3000 - Campus Universitário, 59078-970, Natal - RN, Brasil

E-mails: agassielalves@uern.br; venerandoamaro@ct.ufrn.br

Recebido em: 14/06/2017 Aprovado em: 19/07/2018

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2018_2_471_486

Resumo

O presente artigo trata de uma avaliação referente às alterações de duas variáveis climáticas de duas áreas de reserva localizadas na região da Bacia Potiguar, no Estado do Rio Grande do Norte, a Floresta Nacional de Açu e a Reserva de Desenvolvimento Sustentável de Ponta do Tubarão. O objetivo do trabalho é compreender a relação entre as diversas formas de exploração energética, renováveis e não renováveis, e as variações nos níveis de albedo e temperatura superficial nas áreas analisadas, levando em consideração também os diferentes geossistemas e geofácies que compõe a Bacia Potiguar. Os métodos empregados baseiam-se em dados produzidos pelo sensoriamento remoto baseando-se na técnica GEOBia (*GEOgraphic-Object-Based Image Analysis*) e cruzamento com dados físicos preexistentes da área de estudo. Os resultados apontam que há alterações nas áreas de reserva, relacionadas à exploração de biomassa, exploração petrolífera e produção de energia elétrica baseada em usinas eólicas. As características dos geossistemas observados apresentam setores com altos índices naturais de albedo, e em muitos deles foram identificadas tendências de aumento significativo dos índices analisados, podendo ser considerados preponderantes para ampliação das áreas classificadas em processo de desertificação, uma vez que se trata de uma das poucas áreas do mundo com conexão entre faixas litorâneas com clima semiárido.

Palavras-chave: Bacia Potiguar, energia, alterações climáticas, semiárido, desertificação.

Abstract

This paper deals with an assessment of changes in two climatic variables of two reserve areas located in the Potiguar Basin region, in the State of Rio Grande do Norte, the Açu National Forest and the Ponta do Tubarão Sustainable Development Reserve. The objective of this work is to understand the relationship between the different forms of energy exploration, renewable and nonrenewable, and variations in albedo and surface temperature in the analyzed areas, taking into account also the different geosystems and geo - factors that make up the Potiguar Basin. The methods used are based on data produced by remote sensing based on GEOBia (*GEOgraphic-Object-Based Image Analysis*) technique and crossing with physical data pre-existing in the study area. The results indicate that there are changes in the reserve areas, related to the exploitation of biomass, oil exploitation and production of electricity based on wind farms. The characteristics of the observed geosystems present sectors with high natural indices of albedo, and in many of them were identified tendencies of significant increase of the indexes analyzed, being able to be considered preponderant for the expansion of the classified areas in process of desertification, since it is one of the few areas of the world with connection between coastal strips with semi-arid climate.

Keywords: Potiguar Basin, energy, climatic change, semi-arid, desertification.

1 Introdução

Localizada numa região de condições climáticas diferenciadas cuja linha de costa setentrional encontra-se em contato direto com uma faixa continental de semiaridez, a Bacia Potiguar (BP) apresenta condições diferenciais de necessidade de áreas de reserva e preservação de condições naturais necessárias à manutenção do seu equilíbrio ecossistêmico. A BP é compreendida hoje como a principal área de campos de exploração petrolífera *onshore* do país (continental).

Sob condições naturais de estuários negativos¹, os diversos exemplos de foz encontradas na BP apresentam características muito relacionadas à intermitência de seus canais de escoamento fluvial, provenientes dos períodos de pluviosidade diferenciada do ano, diferenciações de cobertura dos solos sobre a planície costeira, com faixas de menor intensidade de escoamento superficial, bem como de estruturas geológicas com formações diferenciadas que interferem na interface dos lençóis freáticos e do oceano atlântico. “O Brasil é vulnerável às mudanças climáticas atuais e, mais ainda às que se projetam para o futuro, especialmente quanto aos extremos climáticos. As áreas mais vulneráveis compreendem a Amazônia e o Nordeste do Brasil” (CAVALCANTI et al, 2009)

O uso e ocupação da BP em suas áreas interiores também estão muito associadas às características geológico-geomorfológicas e hidrológicas, havendo concentrações de zonas urbanas e de habitação rural sempre associadas aos principais rios e reservatórios existentes na região, com ênfase das proximidades dos principais rios da região, o rio Piranhas-Açu e o Rio Apodi-Mossoró.

No início deste século, junho de 2001, foi criada a Floresta Nacional de Açu – (FLONA AÇÚ), aonde foi definida uma área com preservação de 528,25 hectares de área preservada da caatinga, associada à reserva hídrica da Lagoa do Piató

¹ Referente à foz do rio Piranhas-Açu e do rio Apodi-Mossoró, os estuários destes dois rios intermitentes apresentam elevados índices de salinidade a quilômetros da linha de costa, proporcionando condições para as duas maiores áreas de produção de sal marinho brasileiro.

(AMORIM et al, 2016). A iniciativa partiu no ano de 1950 com a criação de um Horto Florestal subordinado ao Serviço Florestal do Ministério da Agricultura, que depois foi transformada em uma unidade de conservação. Segundo CAMACHO et al, 2007, a Floresta Nacional de Açu representa um remanescente de caatinga preservada com boa parte de suas características originais. É uma unidade de conservação que exerce grande importância econômica e ecológica, com exuberante biota nativa da caatinga.

A Reserva de Desenvolvimento Sustentável de Ponta do Tubarão (RDSPT) está localizada nos municípios de Guamaré e Macau e foi criada após 20 anos de trabalho das comunidades que habitam na área contra atividades de grande impacto ambiental e socioeconômico, como a instalação de criadouros de camarão (carcinicultura), desmatamento dos manguezais, pesca predatória, e instalação de atividades de exploração energética (biomassa, usinas eólicas e exploração petrolífera).

Estas duas unidades representam significativos exemplos de áreas de menor alteração antrópica das condições naturais, porém continuam sofrendo influência de atividades de exploração energética no sentido das atividades desenvolvidas, tanto na Reserva de Desenvolvimento Sustentável de Ponta do Tubarão, quanto na Floresta Nacional de Açu sendo objetivo do presente trabalho identificar os impactos relacionados nas áreas de reserva, em relação às áreas de entorno e do plano geral dos geossistemas que compõe BP.

A problemática da análise das estatísticas relacionadas às questões ambientais está no cerne dos sistemas de monitoramento, estando ainda relacionados a uma realidade aonde “a produção de estatísticas ambientais e de indicadores sobre a sustentabilidade do desenvolvimento em todo o mundo é bastante precária – as deficiências e lacunas superam em muito a oferta de informações existentes” (Besserman, 2003).

De acordo com as informações do Banco de Dados da Exploração de Petróleo (BDEP, 2014), há na área de estudos 14 poços de exploração, mais especificamente na RDSPT, dos quais 08 estão

arrasados e 06 cedidos para produção de água. Nesta área apenas um poço (4MA-0006-RN) foi classificado como “descobridor de nova jazida de petróleo”. Associado a isto existiam na área em 2013, 47 usinas eólicas pertencentes ao Parque Alegria. Estas áreas apresentam alterações nos sistemas geossistêmicos naturais da região, fato este que representa indicativo de alterações significativas nos aspectos climáticos.

2. Revisão Conceitual

No período final do século XVIII, surge a concepção sistêmica a partir de Alexander von Humboldt através de suas viagens exploratórias e de observação dos diversos continentes, cria o conceito de *Landshaft*, analisando “o meio geográfico em sua totalidade, funcionando mediante as inter-relações vigentes entre seus componentes, delineando-se assim as primeiras rupturas com o paradigma mecanicista e reducionista na interpretação do meio” (Marques Neto, 2008).

A origem do conceito de geossistema surgiu a partir do início do século XX, através do trabalho desenvolvido pelo biólogo austríaco Ludwig Von Bertalanffy através da criação da Teoria Geral dos Sistemas (TGS), considerado por muitos como uma reação contrária ao reducionismo científico. Segundo a lógica definida por Bertalanffy (1973, p.53), “É necessário estudar não somente partes e processos isoladamente, mas também resolver os decisivos problemas encontrados na organização e na ordem que os unifica, resultante da interação dinâmica das partes.”, estudando as partes de forma isolada ou integrada.

Segundo observações de Capra, (1996), antes de Bertalanffy, outro autor russo, Alexander Bogdanov havia produzido alguns arcabouços teóricos sobre os sistemas, subdivididos em sistemas complexos: organizados, desorganizados e neutros. Baseando-se na TGS, podemos afirmar que “*embora os geossistemas sejam fenômenos atuais, todos os fatores econômicos e sociais, influenciando sua estrutura e peculiaridades espaciais, são tomados em consideração durante o seu estudo.*” (Sochava,

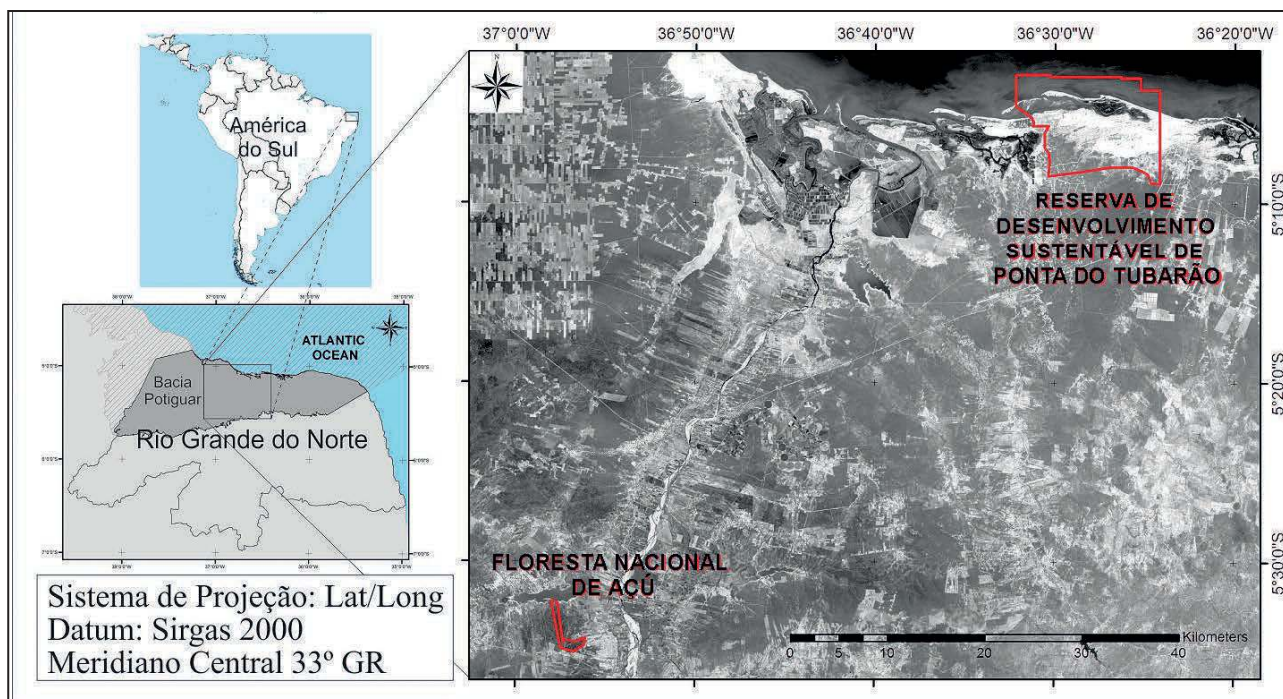


Figura 01 Localização das áreas de reserva: Floresta Nacional de Açú e Reserva de Desenvolvimento Sustentável de Ponta do Tubarão. Fonte: Imagens Landsat 8 - USGS (2014) e dados do IDEMA, 2014; IBGE, 2015.

1977, p. 6). Isto demonstra a preponderância associada às ações antrópicas desenvolvidas sob as diferentes estruturas e elementos que compõe os geossistemas, principalmente nas escalas regionais com grande influência em domínios tanto político-administrativos, quanto de atividades econômicas de exploração de recursos naturais, uma atividade muito comum em diversas escalas e tempos históricos, com consequências da mesma forma, em escalas diferenciadas.

No âmbito da análise de geossistemas de regiões semiáridas, o elemento climático com suas variações específicas de importantes fatores como a pluviosidade e a temperatura, associam-se a impactos em uma face variável e correlata aos conceitos de equilíbrio ecológico e estabilidade dos serviços ambientais: os elementos biológicos. Concentram-se assim, principalmente na face fitológica, muitas propriedades importantes como manutenção de equilíbrios pedogênicos, estabilização de equilíbrio energético, controle de taxas de evapotranspiração, dentre outros. *“Geossistemas abrangem complexos biológicos, possuem uma organização de sistemas mais complicada e, em comparação com os ecossistemas, têm capacidade vertical consideravelmente mais ampla.”* (op. cit. p. 17)

A partir da análise geossistêmica, criada por Bertand (1969) podemos considerar hierarquicamente seis níveis taxonômicos: três unidades superiores: zona, domínio e região natural; e três inferiores: **geossistema**, **geofácies** e geótopo. A escala a ser analisada é o fator preponderante da escolha das unidades principais a serem trabalhadas, por isto, na análise da BP foram escolhidas as duas unidades inferiores: geossistema e geofácies, uma vez que são trabalhados dados de escala regional.

Dentre os elementos mais importantes a serem considerados na definição do geossistema, segundo Christofletti (1999), destacam-se a geomorfologia, o clima e a hidrologia e pedologia, além de elementos biológicos relacionados à vegetação e a fauna. Estes elementos podem ou não estar relacionados às ações antrópicas, diferencial que se estabelece com a

relação entre as variadas formas de uso e ocupação do homem.

Os impactos destas mudanças sobre os ecossistemas com importantes funções de caráter climático nos remetem a uma reflexão sobre os processos de planejamento do território em relação às decisões político-administrativas, principalmente no quadro de consequências associadas à estas mudanças, conforme citam Diniz Filho & Araújo, “As implicações das mudanças climáticas para a biodiversidade são óbvias, já que podem forçar mudanças substanciais em termos de ganho e perda das espécies.” (Diniz Filho & Araújo, 2010, p. 158), questão esta que consequentemente nos obrigam a revisar os princípios relacionados ao planejamento territorial.

Na BP, as relações antrópicas baseiam-se principalmente em processos exploratórios de diversos recursos naturais (rochas, solos, sal), sistemas agropecuários e uma gama de elementos de caráter energético em frentes não renováveis (petróleo e gás natural) e renováveis (biomassa, energia elétrica de bases eólicas, termelétricas e solares). A ocupação da região deu origem a uma série de vilas que evoluíram para diferentes unidades urbanas, em geral cidades de pequeno porte, com exceção do município de Mossoró, tendo ao todo vinte e quatro zonas urbanas ativas.

Dentre as variáveis dos elementos envolvidos na constituição dos geossistemas, a geomorfologia é um dos mais importantes e, no caso da BP, um dos mais estáveis, no que tange à diversidade morfológica e ao espectro de mudanças do relevo, não havendo grandes elevações, sem altos níveis de declividade, com pequenas exceções que não chegam a impor barreiras geográficas significativas, caracterizando-a como um meio equilibrado geomorfologicamente. O equilíbrio dos sistemas associa-se ao ajustamento das variáveis internas em relação as condições externas, aonde os sistemas ambientais geomorfológicos sob as influências dos demais ambientes, define o balanço de matéria e energia que fluem pelos sistemas. (Guerra & Marçal, 2006)

Os índices de albedo representam em áreas de cobertura baseada em solos e vegetação um importante índice climático, pois o conjunto de setores com albedo em processos de elevação tanto representa uma maior refletividade de ondas, principalmente longas, como também um aumento das temperaturas superficiais que ocasionaram, consequentemente, aumento de evapotranspiração e diminuição dos índices de umidade relativa do ar devido às poucas reservas hídricas superficiais.

Assim, partimos para a análise das relações entre os geossistemas que compõem a BP, e como estes se inter-relacionam e influenciam nas variações que interferem nas alterações dos aspectos climáticos, relacionados à exploração energética ou associados a outras atividades antrópicas instaladas, associadas às áreas de reserva existentes de caráter preservacionista (FLONA) e de uso sustentável (RDSPT).

3 Materiais e Métodos

3.2 Fontes dos Dados Utilizados

A partir da utilização dos dados do sistema de informações geográficas disponibilizadas pelo Banco de Dados de Exploração Petrolífera (BDEP, 2013), associadas a análises de sensoriamento remoto baseadas nas cenas do satélite Landsat 8 (USGS, 2013), foi feita a análise das áreas com foco na temperatura e albedo das áreas de exploração e comparadas às áreas de controle, áreas preservadas, afim de compreender qual a relação das alterações de índices naturais de albedo e temperatura em relação às áreas exploradas.

A delimitação da BP foi feita tomando por base a utilizada pela CPRM em relação aos limites sedimentares da formação sobre o cristalino em consonância com a utilizada pelo BDEP e pelo Laboratório de Geoprocessamento da UFRN (Geopro-UFRN). Foram trabalhadas as atualizações da linha de costa com referência à data das imagens Landsat 8 216/063 (159 – 08/06/2013), 216/064 (191 – 10/07/2013), 215/063 (152 – 01/06/13), 215/064 (152 – 01/06/13) e 214/064 (161 – 10/06/2013), (USGS, 2013) devido às constantes modificações relacionadas aos processos de erosão e acresção atuantes no litoral setentrional (AMARO, 2012). O

sistema geodésico adotado como referência foi o WGS84 convertido para a base do SIRGAS 2000, com sistema de coordenadas em graus, minutos e segundos.

As bases quantitativas dos elementos que compõem o geossistema integrado da BP foram obtidas das seguintes fontes: a. Base geológica e geomorfológica (Banco de dados da CPRM); b. Base de altimetria e declividade (Topodata - INPE, 2010); Base pedológica (atualizada - RADAM Brasil, 1985); Base climática de classificação e precipitação (EMPARN, 2014); Base cobertura vegetal (atualizada - RADAM Brasil, 1985); Uso e ocupação do solo (classificação não supervisionada - USGS, 2013).

A delimitação das áreas urbanas cadastradas no Censo Demográfico de 2010 pelo IBGE, foram importantes pontos de observação no que se refere às alterações de uso e ocupação, principalmente no que se refere aos elementos micro/mesoclimáticos de temperatura e albedo superficiais.

Os dados de sensores remotos (OLI e TIRS) do Landsat8 foram trabalhados sobre os métodos de Correção Atmosférica 6S - Second Simulation of a Satellite Signal in the Solar Spectrum (Vermonte et al, 2006) e Albedo (Liang, 2000). Os valores de temperatura superficial foram calculados com base no sistema GEOBia, através da ferramenta *Surface Temperature with emissivity correction*, utilizando-se o software ArcGis 10.2.2., A estimativa da temperatura da superfície terrestre começa com a conversão de DN (dúmero digital) de 10,8 micrómetros de banda para radiação. “A partir da radiação, a temperatura do brilho do satélite é calculada usando constantes de conversão térmica específicas da banda de metadados.” (URBANSKY, 2016, p. 12)

A partir da utilização do sistema de correção 6S (ANTUNES et al, 2014, p. 03) foi empregada a correção das bandas 2,3,4,5,6 e 7, sendo subdivididas nas faixas 2,3,4 (visível), 5 (infravermelho próximo), 6 e 7 (infravermelho médio).

Os itens de observação deste método são baseados na utilização das seguintes variáveis:

ângulo solar, ângulo zenital, distância terra-sol, cobertura de aerossóis e modelo de atmosfera.

A correção atmosférica foi feita individualmente nas bandas, o que propiciou uma expressiva interpretação através de três etapas: calibração e radiância, correção atmosférica (ToA), e por último a mensuração do albedo superficial através do método de Liang (2000).

Calibração e radiância:

$$L_{\lambda} = \frac{L_{\max} - L_{\min}}{Q_{\text{cal max}} - Q_{\text{cal min}}}(Q_{\text{cal max}} - Q_{\text{cal min}}) + L_{\min} \quad (1)$$

Onde,

L_{λ} : Valor de radiância

L_{\max} : Valor máximo de radiância (W/Esteradiano/m²/μm)

L_{\min} : Valor mínimo de radiância (W/Esteradiano/m²/μm)

$Q_{\text{cal max}}$: Valor máximo de níveis de cinza utilizados na quantização dos dados

$Q_{\text{cal min}}$: Valor mínimo de níveis de cinza utilizados na quantização dos dados

Correção atmosférica:

$$\rho_{\phi} = \frac{\pi \times L_{\lambda} \times d^2}{E_{\text{sol}} \times \cos \theta_s} \quad (2)$$

Onde,

π : ângulo sólido em esterradiano;

L_{λ} : Valor de Radiância;

d : distância sol-terra em unidades astronômicas (UA);

E_{sol} = irradiância solar para uma dada banda em W/m²/μm;

Após a correção atmosférica, as bandas analisadas do sensor OLI são submetidas ao cálculo de albedo superficial, baseado na adaptação do método proposto por Liang (2000, p. 227) para o

sensor ETM+ para o sensor OLI, com as devidas adaptações de ondas curtas e da faixa do visível.

Albedo superficial

$$\alpha^{OLI} = (0.356\alpha_2 + 0.317\alpha_3 + 0.130\alpha_4 + 0.373\alpha_5 + 0.085\alpha_6 + 0.072\alpha_7) - 0.0018 \quad (3)$$

Onde,

α^{OLI} = Sensor Operational Land Image – Landsat 8, adaptado a partir da relação com as bor ETM+;
 $0,356\alpha_2$ = Valor específico de calibragem da banda.

4 Resultados e Discussões

4.1 Os Casos das Áreas de Reserva

Os dados analisados indicam que houveram alterações nos aspectos de temperatura superficial das áreas de exploração energética, nas três formas, seja em poços de petróleo, exploração de biomassa ou em usinas eólicas. No que se refere aos índices de albedo as alterações foram menos significativas devido a uma característica da área de estudo que está localizada em faixas de campos de dunas, com a presença de solos arenosos com altos índices naturais de reflectância na RDSPT (Figura 02a).

Alterações antrópicas no albedo pela integração dos solos nas dunas litorâneas com inserção de latossolos e argissolos, nos trabalhos de fundação das usinas eólicas, reduzindo os índices e ao mesmo tempo alterando os níveis de infiltração hidrológica, são características das áreas de exploração, pois também tem afetado as estruturas de coberturas vegetais ali existentes. As maiores alterações nas áreas com vegetação alterada fora dos campos de dunas, através da exposição da superfície dos solos em pontos das dunas parcialmente cobertas por vegetação.

As usinas eólicas instaladas na região a sudoeste da RDSPT apresentam relação com as maiores alterações dos níveis de albedo identificadas na área da reserva. Em comparação com as áreas de controle preservadas, identifica-se taxas de aumento do nível de albedo variando entre 2,05% a 4,51%, em relação aos índices naturais (0,2029 em relação

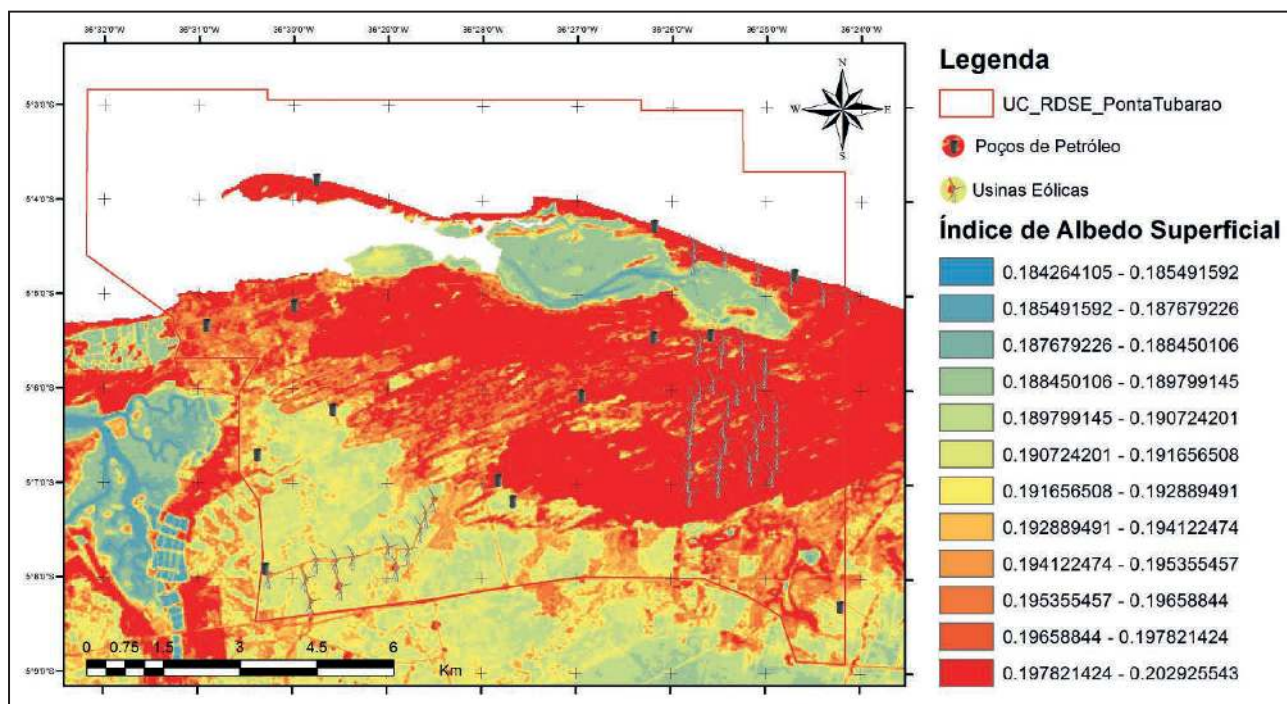


Figura 02a. Índices de albedo superficial da Reserva de Desenvolvimento Sustentável de Ponta do Tubarão.

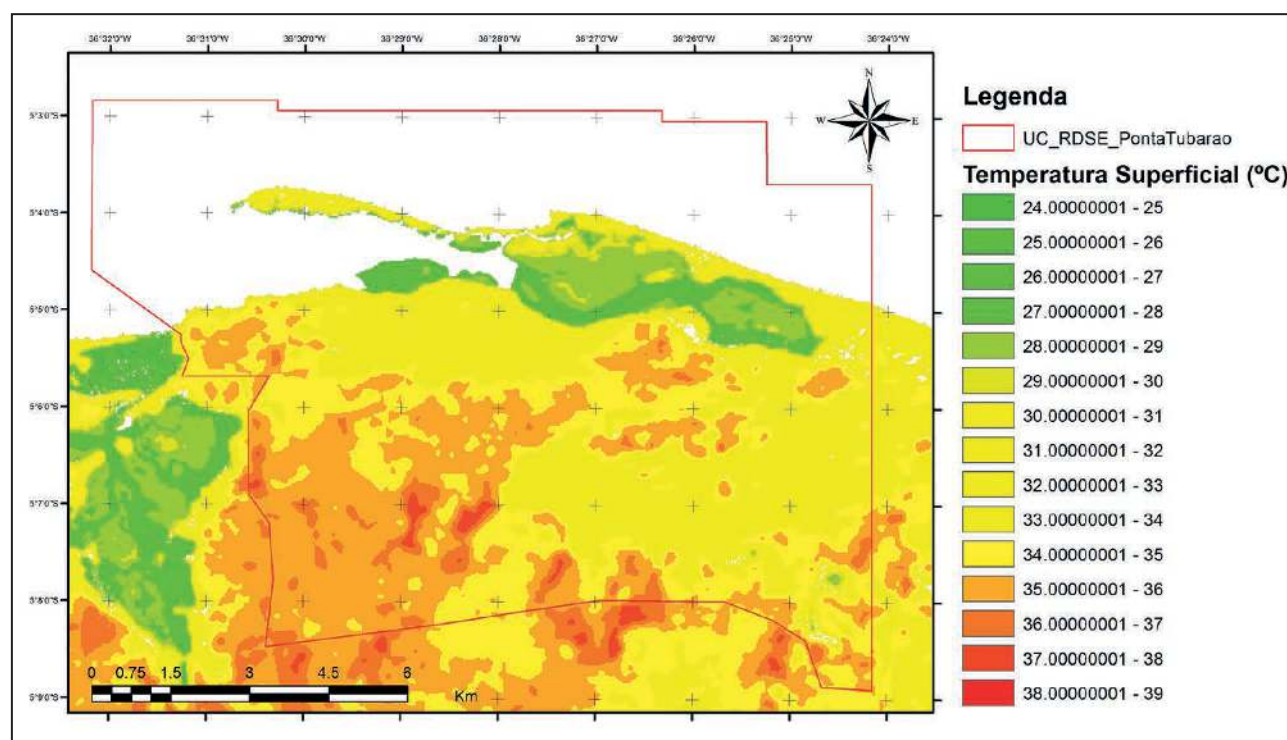


Figura 02b Temperatura superficial na Reserva de Desenvolvimento Sustentável de Ponta do Tubarão.
 Fonte: BDEP, 2014. USGS, 2013

às áreas dos campos de dunas e 0,1901 nas áreas de tabuleiro semiárido costeiro). As variações de temperatura superficial no setor a sudeste da RDSPT, associados às usinas eólicas e petróleo e gás natural, ficaram na faixa de 34,93° a 35,71° C, com variações de 12,53% a 15,04% acima da média natural. As áreas com exploração de Biomassa ficaram entre 35,71°C a 37,66°C, com variações de 15,05% a 21,32% acima da média (31,03 °C em áreas com predominâncias de latossolos e 32,73 °C em áreas de olhos predominantemente arenosos). (Figura 03 b)

Na FLONA de Açú, não há atividades de exploração de petróleo e gás natural, nem usinas eólicas instaladas. Observou-se, no entanto, que há ao sul da área da reserva setores com vestígios de exploração de biomassa (lenha), assim como na extremidade norte, próximo às margens da Lagoa do Piató. Utilizando-se de imagens do Google Earth®, com alta resolução, ficou perceptível que no período de observação² houve uma considerável área de desmatamento (figura 04).

As variações de temperatura superficial no setor a norte da FLONA de Açú, aonde foram

2 Através da ferramenta “Imagens históricas”, do Google Earth, foi possível observar imagens de 08/2013, praticamente o mesmo período analisado nas imagens do Landsat8 analisadas.

identificadas as maiores áreas de exploração de biomassa, variaram entre 29,56°C a 34,07°C, com variações de 3,92% a 15,25% acima da média natural (28,44 a 30,56, dependendo principalmente do nível de exposição do solo). Os índices de albedo identificados foram de 0,188 a 0,195, com variações de 0,57% a 3,55% em relação à média (0,186 a 0,188 dependendo da cobertura vegetal existente). Observando comparativamente, as variações entre a FLONA de Assu e a RDSPT foram menores principalmente pela influência das geofácies das dunas móveis encontradas nesta última, que apresenta potencialidade natural de altos níveis de reflectância que se refletem no albedo.

4.2 Panorama dos Geossistemas da Bacia Potiguar

A Bacia Potiguar trata-se de uma área com diversas alterações relacionadas a um passado geológico influenciado por sucessivas alterações do nível do mar e que, conseqüentemente, constituiu importante área de reservas de hidrocarbonetos que fundamentaram as fontes de petróleo e gás natural existentes na formação. Esta área de características diferenciadas apresentou condições favoráveis à ocupação

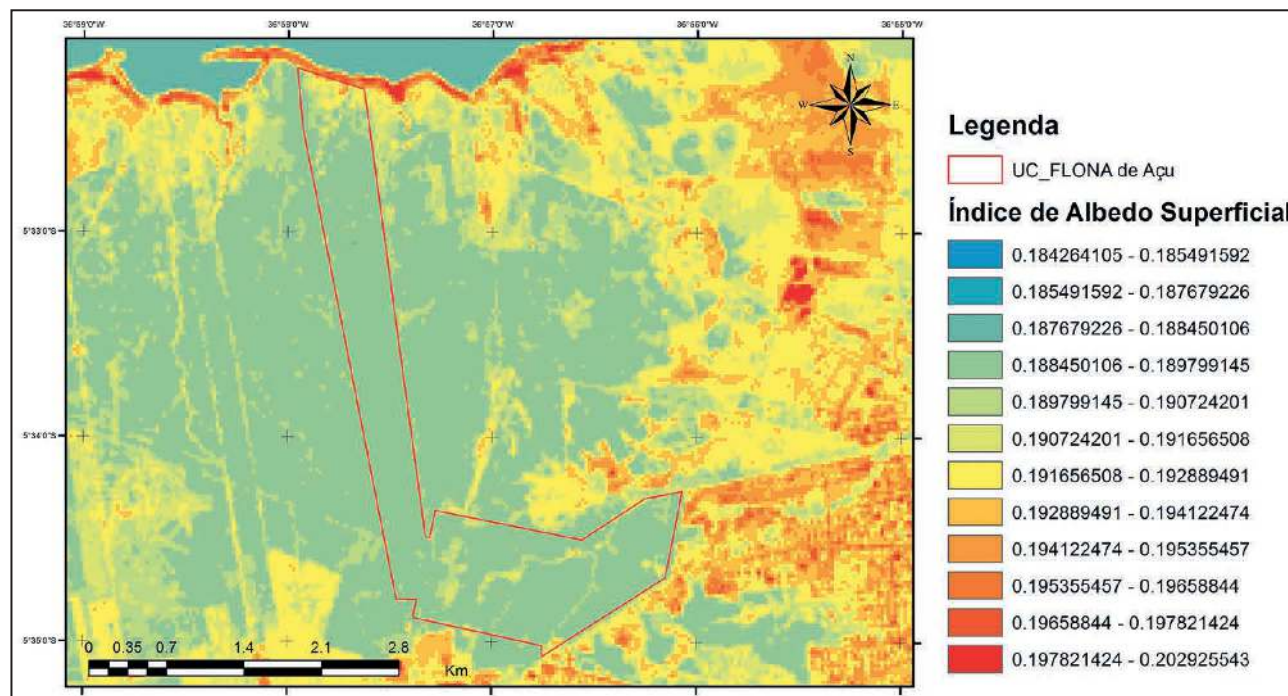


Figura 03 a. Índices de albedo da Floresta Nacional de Açú.

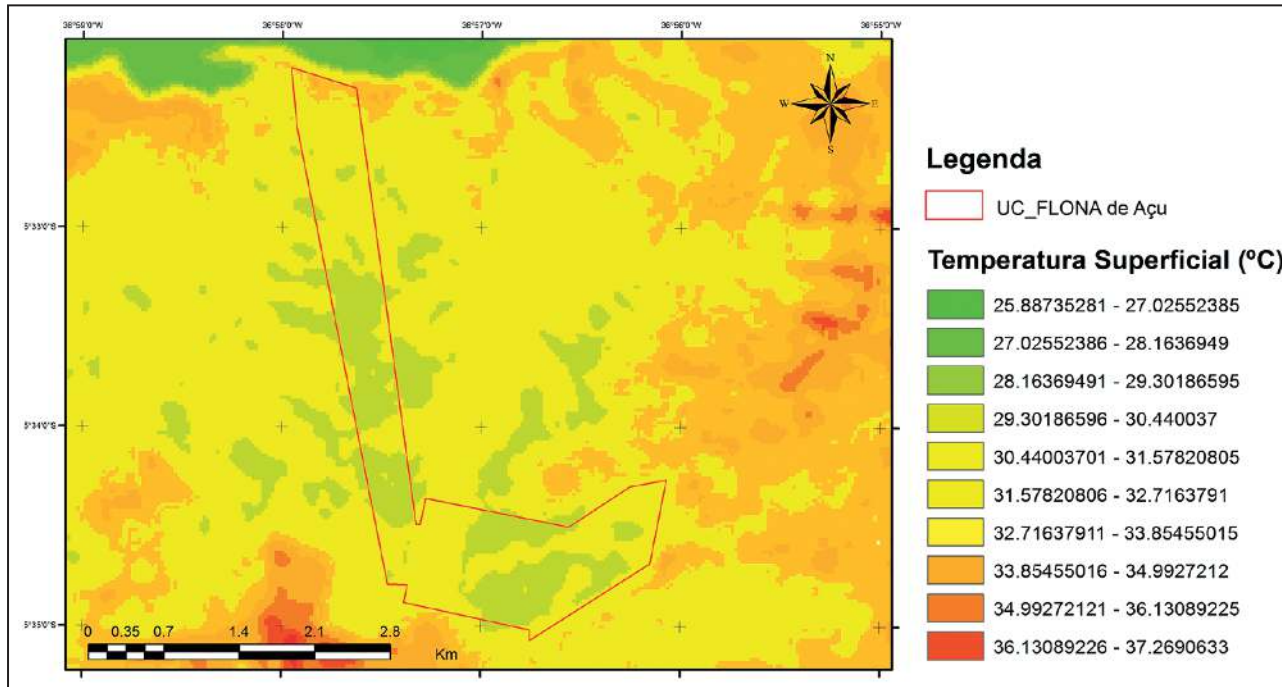


Figura 03 b. Temperatura superficial na Floresta Nacional de Açú
 Fonte: USGS, 2013



Figura 04 Observação da área de exploração de biomassa na extremidade norte da área de reserva da FLONA de Açú.
 Fonte: Google Earth®, 2013

humana, que incutiram em formas diferenciadas de exploração, inclusive de matrizes energéticas, iniciando-se pelas primitivas formas de exploração da biomassa de origem vegetal.

A inserção de novas formas de exploração propiciou a alteração das formas de interação com os geossistemas que compõe a Bacia Potiguar, aonde o aproveitamento dos potenciais existentes articulou-

se com diferentes elementos essenciais da definição de condições climáticas.

A partir desta perspectiva, a Bacia Potiguar apresenta uma grande diversidade de unidades geoambientais, divididas em com 09 (nove) geossistemas (GS), tabuleiro semiárido, tabuleiro semiárido costeiro, tabuleiro subúmido, dunas, praia marinha, floresta de mangue, planícies de

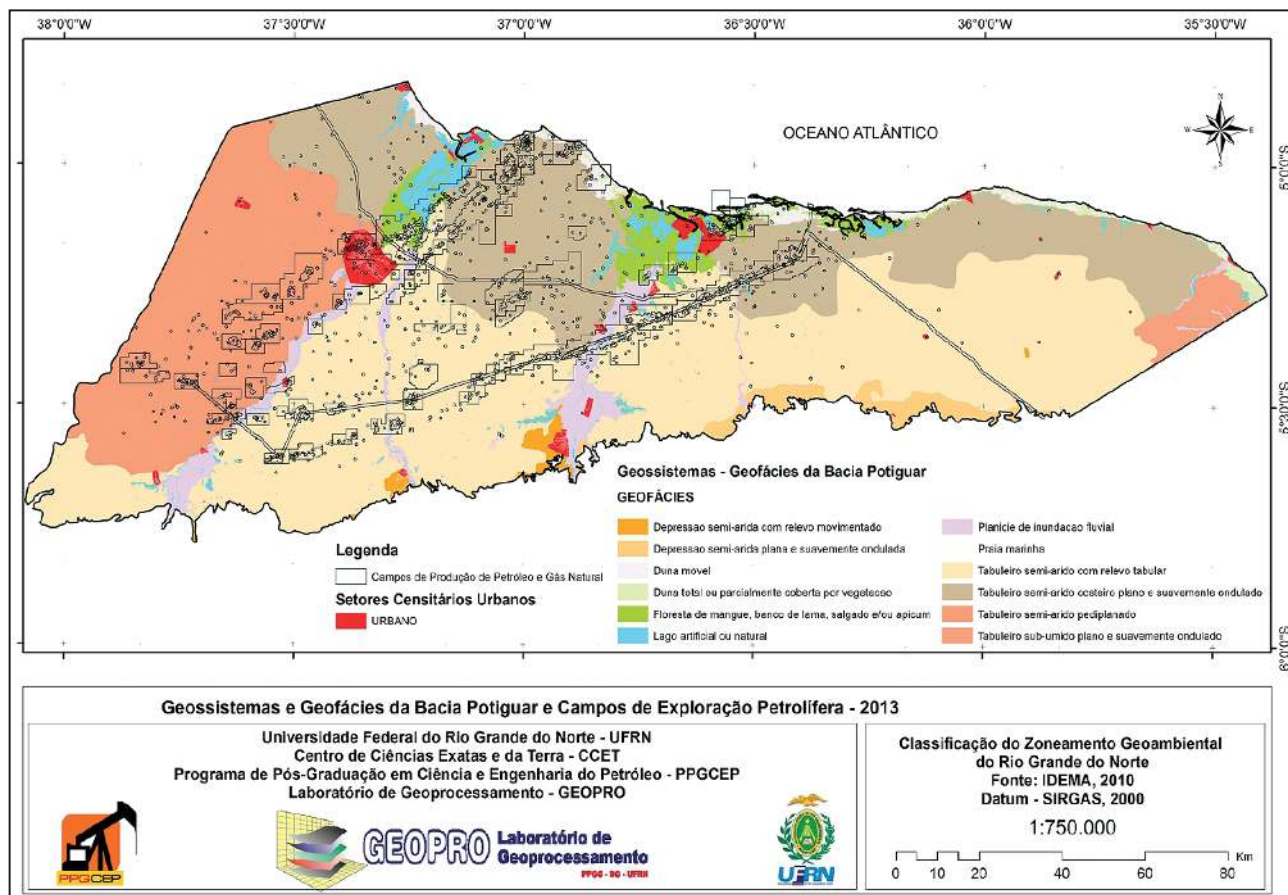


Figura 05 Geossistemas e detalhamento das Geofácies que compõe a Bacia Potiguar. Em vermelho áreas de influência de zonas Urbanas. Fonte: Cestaro et al, 2010; BDEP, 2013

inundação, lagoas naturais, depressão semiárida; e subdivididos em 12 Geofácies (GF) descritas a seguir. Os geossistemas que compõe a BP apresentam características geológicas-geomorfológicas aproximadas, porém a inter-relações com os elementos dos sistemas climáticos, hídricos, de energia e biológicos, significativamente diversos em relação às variáveis analisadas no presente trabalho justificam as subdivisões detalhadas a seguir.

As subdivisões das geofácies (Figura 05) são as seguintes: Depressão semiárida com relevo movimentado; Depressão semiárida plana e suavemente ondulada; Duna móvel; Duna total ou parcialmente coberta por vegetação; Floresta de mangue, banco de lama, salgado e/ou apicum; Lagoas naturais e artificiais; Planície de inundação fluvial; Praia marinha; Tabuleiro semiárido com relevo tabular; Tabuleiro semiárido

costeiro plano e suavemente ondulado; Tabuleiro semiárido pediplanado; Tabuleiro subúmido plano e suavemente ondulado.

As principais características descritas por CESTARO, et al (2010), CPRM (2010) e as observações de campo associadas aos dados climatológicos produzidos sobre as geofácies identificadas, apresentam as seguintes características:

Tabuleiro semiárido pediplanado – Com base em estrutura geológica de sedimentos finos e superfícies geomorfológicas pediplanadas, o tabuleiro semiárido é uma área com expressiva atividade de exploração petrolífera, localizada a extremo oeste na BP, tendo como principal limitador o curso principal do rio Apodi-Mossoró. Caracteriza-se como área de clima tropical quente – semiárido, e predominância se cambissolos e chernossolos

rêndzicos, com cobertura vegetal de savana estépica florestada e arborizada.

Esta geofácie possui significativos afloramentos geológicos com altos níveis de reflectância e variações de temperatura superficial. As atividades agropecuárias e de exploração de biomassa natural, também interferiram significativamente nas características dos níveis de albedo do tabuleiro semiárido pediplanado.

Tabuleiro semiárido com relevo tabular – Trata-se da maior área de cobertura da BP, com predominância da geologia associada à formação Jandaíra, com formação baseando-se na presença de calcarenito, folhelho e calcilito (CPRM, 2010), associada a outras formações menores como depósitos aluvionares antigos, sedimentos cenozoicos inconsolidados, grupo Barreiras, e formação Tibau. Há também uma pequena intrusão de Basalto Macau, pouco relevante.

Os solos predominantes são os latossolos associados a argissolos. Em observação de campo, identificou-se também a presença de grandes áreas de areias inconsolidadas em várias áreas mais centrais, provenientes de campos dunares existentes ao norte.

Na extremidade sudoeste da BP, é possível identificar áreas de altos níveis naturais de albedo, com a presença de grandes áreas de afloramentos da formação Açú, tendo como significativo exemplo a unidade de conservação do Lajedo de Soledade, associadas a estas, é possível destacar outras atividades que induziram ao aumento destas áreas



Figura 06 Fotografia no Tabuleiro semiárido com relevo tabular, de área de elevados índices de albedo (0,196) e temperatura (chegando a níveis de 39°C)

Fonte: Foto do autor em trabalho de campo

como a exploração da biomassa (Figura 06) e das atividades de produção de cal.

As atividades de exploração energéticas associadas à esta área, são as mais variadas, partindo das não renováveis associadas ao petróleo e gás natural, com presença de grandes campos, unidades de pré-processamento e gasodutos, às renováveis que perpassam energia elétrica de base eólica e termoelétrica, biomassas naturais (lenha) e biomassas produzidas (pequenas áreas de cana-de-açúcar, girassol e mamona utilizados na produção de biodiesel)

Tabuleiro semiárido costeiro plano e suavemente ondulado – Trata-se de uma área de considerável característica de transição das geofácies do tabuleiro interiorano, com as propriedades naturais associadas aos geossistemas litorâneos. Muito integradas à formação geológica do Grupo Barreiras, apresenta grande diversidade de características geológicas, com predominância pedológica de argilitos arenosos, argilitos conglomerados e siltitos, associados a depósitos flúviomarinhas e aluvionares. Estas características associadas aos elementos do clima semiárido com proximidade litorânea induzem a vegetações de savana estépica predominantemente arbórea, porém graus diferenciados de salinidade dos solos e áreas de caráter alagadiço induzem a campos de vegetação de porte arbustivo e herbáceo.

Destaca-se como a segunda maior área de exploração petrolífera, e com grande emprego em instalações de campos de usinas eólicas e exploração de biomassa. No município de Guamaré, encontra-se a principal unidade de processamento de petróleo, a Refinaria Potiguar Clara Camarão, associada à área urbana do município.

É importante destacar que uma das maiores áreas de alteração nos índices estudados localiza-se nesta geofácie, com relação direta ao município de Serra do Mel, aonde se encontra a maior região produtora da cajucultura do Estado, destacando-se na imagem os campos de produção que, embora tenham cobertura vegetal (alterada), demonstram níveis mais altos de albedo e temperatura.

Tabuleiro subúmido plano e suavemente ondulado - Pertencente ao geossistema Tabuleiro

Subúmido Oriental, esta geofácies encontra-se situada na parte leste da BP, com características diferenciadas em relação aos aspectos climáticos, pedológicos e vegetacionais.

A vegetação da área, embora associada ao clima semiárido, é classificada como vegetação de cerrado ou floresta estacional semidecidual (Figura 07), com espécies e estrutura fitofisionômica diferenciadas. Nesta área não há nenhuma forma de exploração petrolífera em funcionamento.



Figura 07 Características da vegetação diferenciada do Tabuleiro subúmido plano e suavemente ondulado.

Fonte: Foto do autor em trabalho de campo

Duna móvel - Caracterizam-se por geofácies com grandes volumes de areias inconsolidadas provenientes das praias marinhas com geomorfologia instável e que encontram-se em áreas de cobertura próxima à linha costeira setentrional da BP. Apresenta significativo número de poços de petróleo, sem exploração vigente ou cedidos para o consumo de água potável. Alguns parques eólicos encontram-se instalados nestes campos, cuja principal alteração observada trata-se das alterações de solos, com inserção de argissolos nas bases de engenharia, assim como ocorre na delimitação das unidades de bombeamento de petróleo e gás natural.

Destacam-se naturalmente altos índices de reflectância, com níveis de albedo similares, em alguns pontos, aos dos níveis desérticos (0,25 – 0,30). Os níveis de alteração de temperatura também estão acima da média, chegando a atingir níveis de

28,45° (campo de dunas dos Rosado no município de Macau).

Duna total ou parcialmente coberta por vegetação - Apresentam características semelhantes às dos campos de dunas móveis, porém mais estáveis devido à presença de vegetação minimizando os processos de transporte e erosão, bem como a reflectância e absorção de calor pela superfície arenosa. A presença de estações de bombeamento e poços abandonados é muito menor daquela identificada nas áreas de dunas móveis.

Praia marinha – Associada a uma das bases da região natural, este geossistema/geofácies baseia-se em areias inconsolidadas associadas à uma base quartzosa que compõe a planície marinha, com estirâncios variados em diversas faixas praias³, que apresenta diferentes larguras e texturas, associadas às bordas de falésias e afloramentos do Grupo Barreiras, campos dunares e manguezais. É uma área de grande dinâmica por processos de erosão e acreção, promovidos pelo contato direto com o oceano (ondas e correntes) e com os ventos alísios do norte associados à zona de convergência intertropical aonde a linha de costa da BP está mais próxima. Não foram verificados poços petrolíferos instalados com estações de bombeamento, estando estes concentrados mais próximos nas áreas de campos dunares. São áreas com potencial uso para exploração de força maremotriz, ainda não instalados.

Floresta de mangue, banco de lama, salgado e/ou apicum – Compõe uma área de importante contexto ecológico, por compor zonas de contato dos principais canais de escoamento fluvial (rios Apodi-Mossoró, Piranhas-Açu) e da planície flúvio-marinha que forma a laguna da reserva de Desenvolvimento Sustentável de Ponta do Tubarão, aonde os campos de exploração petrolífera observados situam-se às margens das geofácies dos mangues, nos campos de dunas.

Baseando-se em solos salinizados (Gleissolos sálicos) com significativa carga de matéria orgânica,

³ O estirâncio é a faixa do litoral situada entre a maré mais alta e a maré mais baixa, sendo importante indicativo das variações climáticas e de nível do mar.

estas unidades são verdadeiros “berçários ecológicos” e ainda mantêm-se como unidades de manutenção de comunidades que se utilizam seus recursos. Durante muito tempo estas foram utilizadas como fonte de biomassa para os habitantes das áreas próximas, mas hoje se encontram protegidas enquanto APPs (Áreas de Proteção Permanente). Contudo ainda há variações muito significativas do uso das áreas de mangues e apicuns, no desenvolvimento de atividades salineiras e carciniculturas, que descaracterizam as propriedades naturais destes.

Um dos maiores campos petrolíferos da BP, o Canto do Amaro, localiza-se em área de Floresta de mangue (mais especificamente em área de apicum), Tabuleiro semiárido com relevo tabular, tabuleiro semiárido costeiro e planície de inundação fluvial.

Planície de inundação fluvial – São áreas de formação geológicas recentes do quaternário, associadas a planícies de deposição de sedimentos carregados pelos quatro principais rios da BP, Rio Apodi-Mossoró, Rio do Carmo, Rio Piranhas-Açu e Rio Cabugi. Estas áreas compõem a geofácie com associação direta a um importante elemento de análise ambiental, as matas ciliares. Porém, a proximidade com os principais rios da BP, associa diretamente a esta geofácie atividades agropecuárias de grande dimensão. O vale do Açu, por exemplo, é ocupado por grandes empresas multinacionais de produção de frutas tipo exportação e associadas a grandes campos de petróleo e gás natural, o que altera significativamente os seus sistemas naturais.

Trata-se de geofácie com grandes faixas de áreas alagadiças que, conseqüentemente, necessitam de gestão diferenciada ao mesmo tempo em que representam unidades substancialmente importantes no tocante à manutenção do equilíbrio ecológico dos rios da região, que passam a grande parte do ano sem fluxo contínuo, por se tratarem de canais intermitentes devido ao período limitado de precipitação ativa na região.

Nestas áreas há uma associação de exploração petrolífera significativa, com seis áreas de cruzamento de unidades de bombeamento, gasodutos e estações coletoras. Áreas estas que necessitam de foco especial de manejo e recuperação. A exploração

de biomassa natural também é bastante característica desta região, havendo ainda áreas de desmatamento ativas junto a áreas de mata ciliar dos rios já citados.

Lagoas naturais e artificiais – Estas unidades estão em geral associadas às proximidades das planícies de inundação fluvial, como também às áreas dos tabuleiros semiáridos costeiros e manguezais, nas áreas mais próximas à linha de costa. Representam os vales lagunares, com presença de lagoas naturais perenes ou temporárias, associadas a solos hidromórficos (neossolos quartzarênicos e vertissolos). Apresentam significativas áreas de exploração petrolífera associada nas suas bordas, na região dos municípios de Macau e Guamaré, porém sem grandes unidades em funcionamento. Não foram identificadas outras formas energéticas em atividade nesta geofácie. Há na BP reservas superficiais de recursos hídricos com características semelhantes às das lagoas naturais, porém com porte em geral maior e mais manipulado para consumo.

Depressão semiárida com relevo movimentado – Áreas de transição da BP para com a Depressão Sertaneja de base cristalina do Estado, situada ao sul com predominância dos afloramentos da formação Açu, com arenitos, siltitos e folhelhos, associados a gnaisses e granitos em sua borda ao sul. Formas convexas de relevo com predominância de luvisolos e neossolos litólicos. Setores muito associados a proximidades com os vales fluviais dos principais rios da região. São áreas que não apresentam atividades petrolíferas ou eólicas, mas basicamente de exploração de biomassa natural.

Depressão semiárida plana e suavemente ondulada – Apresenta basicamente as mesmas características da semiárida com relevo movimentado, citada anteriormente, porém com relevo mais suave de superfícies pediplanas e formas tabulares, associadas a novas camadas de solos argilosos e planossolos. A característica do clima, embora em área mais afastada dos canais fluviais, baseia-se também no tropical quente subúmido seco, com tendência a semiaridez. Também não apresenta atividades petrolíferas.

4.3 Relação dos Geossistemas e Formas de Exploração Energética

Muitas áreas da BP apresentam características naturais de altos índices de albedo ($> 0,20$) que associadas a determinadas atividades antrópicas, potencializam estas variações. As áreas urbanas estabelecem-se como pontos de concentração de reflectância e altas temperaturas, exemplificando os conceitos de ilhas de calor. Municípios com grandes zonas urbanas, como Mossoró, apresentam índices de elevações muito superiores aos encontrados nos campos de petróleo e gás natural. No geral as outras áreas urbanas da região são de pequenos municípios sem grandes áreas de alteração.

Os afloramentos geológicos identificados em alguns pontos sem interferência antrópica direta, apresentam índices de albedo consideravelmente acima das médias. São áreas localizadas principalmente nos Tabuleiros semiáridos com relevo tabular, Tabuleiros costeiros e até na Depressão semiárida. Estas áreas apresentam significativas diferenças microclimáticas, que são ampliadas às atividades agropecuárias, de exploração e exploração dos recursos naturais ali existentes.

Outro elemento importante a ser considerado refere-se às áreas com coberturas de solos arenosos, de formações recentes, principalmente as associadas às geofácies dos campos de dunas, móveis e com vegetação; Praias marinhas e Vales fluviais. São os geossistemas com os índices aproximados aos de áreas desérticas, superiores a $0,20$. O Tabuleiro semiárido com relevo tabular apresenta setores com altos níveis superficiais destas formações arenosas, cuja extração de biomassa natural potencializou significativamente seus valores de albedo e temperatura. Trata-se de uma área praticamente independente de atividades petrolíferas, mas que merece especial atenção em termos de monitoramento e implementação de atividades de recuperação, a fim de evitar o agravamento da situação vigente. São áreas pertencentes aos limites dos municípios de Pedro Avelino, Afonso Bezerra, Jandaíra, Lajes, Pedra Preta, Pendências e Macau.

As variações identificadas nos demais tipos de atividades de exploração energética, principalmente

às referentes às estações de bombeamento de petróleo e gás natural, e os campos de funcionamento das usinas eólicas, representam modos diferenciados de uso da superfície, com sistemas integrados com separação de áreas preservadas, fator este que minimiza consideravelmente as mudanças associadas, implicando não em mudanças climáticas regionais, mas substancialmente locais.

Os geossistemas mais associados a estas atividades são os Tabuleiros semiárido com relevo tabular, costeiro plano e suavemente ondulado e pediplanado. Outros integrados à faixa costeira também são utilizados nas atividades citadas, contudo apresentam impactos mais ecológicos diretos que climáticos, a partir das variáveis observadas, principalmente na praia marinha, dunas móveis e vegetadas e floresta de mangue e apicuns.

Os sistemas observados adequam-se aos conceitos de sistemas abertos, cujas relações de troca, com os geossistemas circundantes, por meio de entradas e saídas de matéria, energia e elementos biológicos com os outros sistemas. Uma observação pertinente refere-se às faixas de transporte de sedimentos pela água e vento, ao mesmo tempo que espécies vegetais e animais circulam.

4 Considerações Finais

As maiores alterações estão relacionadas aos setores de exploração localizados nas áreas da vegetação de caatinga, com foco na retirada das coberturas vegetais e alterações dos solos originais o que altera as propriedades físico-químicas, e concomitantemente aumentam os índices de albedo e as temperaturas superficiais.

O reflexo destas unidades de exploração, renováveis e não renováveis instaladas na RDSPT estão muito relacionados às condições naturais de grande potencial exploratório, tanto no que se refere à exploração petrolífera quanto à geração energética de base eólica devido à proximidade litorânea. As reservas de biomassas presentes, associadas às características do clima semiárido, com tendências ao xerofitismo e predomínio de espécies herbáceas

e arbustivas que possuem como característica básica longos períodos de resiliência.

Sistemas naturais com altos índices de albedo e temperatura que proporcionam condições típicas de climas quentes e secos a semiáridos (coberturas dunares, afloramentos de rochas sedimentares, baixos níveis de escoamento hídrico superficial) compõe grandes áreas de cobertura da área de estudos, isentos de ações antrópicas. Porém, as áreas com menor condição de savanização natural apresentam algumas das mais significativas alterações superficiais.

As influências de outras formas de uso e ocupação interagem com as alterações dos elementos estudados, destacando-se as zonas urbanas, as áreas de exploração de recursos minerais (rochas e solos) e as vias de acesso asfaltadas e carroçáveis, além de alguns complexos industriais, principalmente os localizados na zona a noroeste da área de estudos, como fábricas de cimento e cerâmicas.

Através da integração dos diferentes tipos de usos da superfície, a Bacia Potiguar pode ser compreendida como uma região que se aproxima dos seus limites naturais para sofrer e influenciar significativas alterações nas suas variáveis climáticas, bem como influenciar em processos já iniciados naturalmente como o processo de desertificação, uma vez que a faixa setentrional representa uma das primeiras áreas de acesso das massas quentes e úmidas provenientes da Zona de Convergência Intertropical que atuam no período chuvoso no nordeste brasileiro a partir da fase de solstício de verão no hemisfério sul.

Os campos de exploração petrolífera que apresentam os maiores índices de alteração de albedo (com média $> 0,18$) são os de Alto do Rodrigues, Benfica, Boa Vista, Brejinho, Canto do Amaro, Estreito, Faz. Pocinho, Guamaré, Monte Alegre, Ponta do Mel, Serraria, Upanema, Salina Cristal, Serra, Macau e Pitiguari. Observou-se que os campos que apresentaram as maiores alterações, não estavam relacionados apenas às estações de bombeamento, mas também às estruturas de acesso,

ligação, canalização superficial de petróleo e gás e subestações de armazenamento.

No que se refere às áreas de reserva, a Reserva de Desenvolvimento Sustentável de Ponta do Tubarão apresentou os índices mais significativos de alteração de suas condições naturais, de forma a relacionar também a presença de áreas de exploração de biomassa e de usinas de energia eólica, que se destacaram na análise dos dados, em oposição à maioria dos poços de petróleo que já se encontram arrasados. Na área da Floresta Nacional de Açú foram encontradas atividades de alteração por exploração de biomassa, especificamente no extremo norte e alguns setores da parte sul, que também sofreu influência de linhas de transmissão energética de alta tensão que passam em sua área delimitada. A falta de fiscalização é um problema a ser considerado neste caso. Este tipo de exploração de biomassa baseada na cobertura vegetal da região é uma das formas mais antigas e primitivas da região, porém, ainda se emprega em larga escala para muitas atividades comerciais/industriais.

As áreas com relação direta de exploração energética, com estabelecimento de atividades paralelas de exploração petrolífera, principalmente nos campos de Canto do Amaro e Estreito, biomassa natural e usinas eólicas, são as que merecem principal atenção nas políticas de monitoramento e recuperação da BP. As alterações observadas na faixa central da BP oferecem fortes indicativos de expansão de processos de desertificação nesta área, para além das áreas já conhecidas. Nestes geossistemas, acreditamos que seja pertinente repensar o conceito de fonte de energia renovável para a biomassa de regiões semiáridas, uma vez que as taxas de consumo cada vez mais se aproximam dos limites da resiliência deste geossistema.

5 Referências

- Amaro, V. E. ; Santos, M. S. T. ; Souto, Michael Vandesteen Silva. 2012. *Geotecnologias Aplicadas ao Monitoramento Costeiro: Sensoriamento Remoto e Geodésia de Precisão*. NATAL: EDUFERN. 118p
- Amorim, L. D. M; Sousa, L. O. F.; Oliveira, F. F. M.; Camacho, R. G. V.; Melo, J. I. M. 2016. Fabaceae na Floresta Nacional (FLONA) de Assú, semiárido potiguar,

- nordeste do Brasil. *Revista Rodriguesia*. 67(1): 105-123.
- Bertalanffy, L. V. 1973. *Teoria Geral dos Sistemas*. Petrópolis: Vozes.
- Bertrand, G. 1969. Paisagem e Geografia Física global: esboço metodológico. In: *Caderno de Ciências da Terra*, v. 13, São Paulo. pp. 1-21 .
- Besserman, S. 2003. A lacuna das informações ambientais. In: TRIGUEIRO, A. (coord.). *Meio Ambiente no Século 21*. Rio de Janeiro: Sextante.
- Camacho, R. G. V.; Costa, C. C. A., Souza, A. M., Silva, N. F.; Dantas, I. M. 2007. Produção de Serapilheira na Caatinga da Floresta Nacional do Açú-RN. In: *Revista Brasileira de Biociências*, Porto Alegre, v. 5, supl. 1, p. 246-248.
- Capra, F. 1996. *A Teia da Vida*. Cultrix, São Paulo.
- Cavalcanti, I.F.A. Ferreira, N.J. Dias, M. A. S., Silva, G. A. J. 2009. *Tempo e Clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos.
- Cestaro, L. A.; Araújo, P. C. ; Medeiros, C. N. ; Cisneiros, R. ; Araujo, L. P. 2007. Proposta de um sistema de unidades geoambientais para o Rio Grande do Norte. In: *XII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Natureza, geotecnologias, ética e gestão do território*. Anais. Trabalhos Completos. Natal-RN: Departamento de Geografia - UFRN, p. 251-258.
- Christofoletti , A. 1999. *Modelagem em Sistemas Ambientais*. São Paulo: Edgard Blücher.
- Diniz Filho, J. A. F. Araújo, M. B. 2010. Macroecologia e Mudanças Climáticas In: Carvalho, C. J. B. Almeida, E. A. B. *Biogeografia da América do Sul. padrões e processos*. São Paulo: Rocca, pp. 151-161
- University of Calgary. 2014. *GEOgraphic-Object-Based Image Analysis*. Disponível em: <www.ucalgary.ca/f3gisci/GEOBIA> Acesso em 21 Abr. 2014.
- GUERRA, A. J. T. MARÇAL, M. S. 2006. *Geomorfologia Ambiental*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. 2016. *Malhas de Setores Censitários: Divisões Intramunicipais*. Disponível em: <[ftp://geoftp.ibge.gov.br/organizacao_](ftp://geoftp.ibge.gov.br/organizacao_do_territorio/malhas_territoriais/malhas_de_setores_censitarios_divisoes_intramunicipais/censo_2010/setores_censitarios_shp/rn/)
- [do_territorio /malhas_territoriais/malhas_de_setores_censitarios_divisoes_intramunicipais/censo_2010/setores_censitarios_shp/rn/](ftp://geoftp.ibge.gov.br/organizacao_do_territorio/malhas_territoriais/malhas_de_setores_censitarios_divisoes_intramunicipais/censo_2010/setores_censitarios_shp/rn/)> Acesso em 20 Jan.
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE., 2015. *TOPODATA: Banco de dados geomorfométricos do Brasil*. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/documentos.php>> Acesso em 26 Nov.
- Liang, S. 2000. Narrowband to broad band conversions of land surface albedo – I Algorithms. *Remote Sensing of Environment*, 76(2): 213-238.
- Marques Neto, R. 2008. A abordagem sistêmica e os estudos geomorfológicos: algumas interpretações e possibilidades de aplicação. Londrina: *Geografia* - v. 17, n. 2, jul./dez.
- Nobre, P. 2011. Mudanças climáticas e desertificação: os desafios para o Estado Brasileiro. In: MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA — MCT. In: *Desertificação e mudanças climáticas no semiárido brasileiro*. Campina Grande, PB: Insa - PB.
- Prates, M., Gatto, L. C. S. & Costa, M. I. P. 1981. *Geomorfologia*. In: BRASIL. PROJETO RADAMBRASIL. 1981. Folhas SB. 24/25 Jaguaribe/Natal. Rio de Janeiro: Projeto RADAMBRASIL. (série Levantamento de Recursos Naturais, v. 23). p. 349-484.
- Sotchava, V. B. 1977. *O estudo dos geossistemas: métodos em questão*: Instituto de Geografia. Universidade de São Paulo: São Paulo.
- Urbanski, J. 2016. Geobia in ArcGis Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/370467267/GEOBIA-in-ArcGIS-pdf>>. p.12.
- USGS - Geological Survey. 2013. *Cenas do satélite Landsat-8*: Disponível em <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em 15 Out. 2013.
- Vermote E, Tanré D., J. L. Deuzé, M. Herman, J. J. Morcrette, Kotchenova S. Y. 1997. Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum, 6S: an overview. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. Volume: 35, Issue: 3, May 1997. 675-686