

Métodos de fusão de imagens multisensores (óticos e radar) na melhoria do mapeamento de unidades de uso e ocupação do solo na região de Macau e Porto do Mangue, Estado do Rio Grande do Norte

Bruno Rafael de Barros Pereira¹
Venerando Eustáquio Amaro²
Dalton Rosemberg Valentim da Silva¹

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Norte – Departamento de Geologia
Caixa Postal 1584. CEP: 59078-970 - Natal-RN, Brasil.

brbpbrbp@hotmail.com

daltonrosenberg@yahoo.com.br

² PPGG - Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN.

Caixa Postal 1639. CEP: 59078-970 - Natal-RN, Brasil.

amaro@geologia.ufrn.br

Abstract

The north littoral of the Rio Grande do Norte state is a region that suffers a strong dynamic relevant to the coastal process. These processes are increased by the anthropic action join with the natural process that changes constantly the natural landscape. For to have lots of natural resources, this area has been a target of diversities studies to find the better understanding of the relevant changes in the environmental aspects. This changes has been studied through the interpretation of images of Remote Sensing, main the optical images, when was analyzed the spectral aspects of the surface units. In this work, were applied the fusion multi sensors, as optical (Landsat 5 TM) as the radar (Radarsat-1) image. The intention of to apply the fusion of theses data was to present new resource to the mapping of the use and occupation of the soil units, already that each data has individual characteristics, for example in the case of the optical images, spectral information, and in the radar data, the textural and topographic information. It was possible to generate a hybrid image with these properties improving the mapping surface units in the work area in the year of 2006, in the 1:50.000 scale.

Palavras-chave: fusão de imagens, imagens híbridas, processos costeiros, sensoriamento remoto, fusion of images, hibride images, coastal process, remote sensing.

1. Introdução

A Terra é um espaço naturalmente dinâmico e tem sido modificada constantemente. Atualmente, um dos ambientes mais críticos quando se trata dos distúrbios causados pela modificação da Terra, é a zona costeira, devido aos seus limites com os oceanos que fazem com que esta área seja a primeira a sofrer com os impactos relacionados ao aumento dos níveis das águas oceânicas. Neste contexto, se encontra o litoral setentrional do Rio Grande do Norte. A região é caracterizada por praias arenosas, estuários de importantes rios e manguezais, onde o modelamento costeiro é influenciado por uma dinâmica imposta por agentes naturais como o vento, o mar, os rios, marés e entre outros, exibindo uma modificação temporal da paisagem em curtos intervalos de tempo, apresentando regiões destrutivas (áreas de erosão) e construtivas (áreas de deposição). Além disso, esta região possui uma vasta riqueza ambiental e uma ampla diversidade de bens naturais exploráveis que impulsionam a economia local (indústria do petróleo e gás natural, a carcinicultura, as salinas, a pesca e a agricultura, entre outros).

Para compreender melhor estes processos e seus efeitos, uma importante ferramenta surge como “*aliada*”: o Sensoriamento Remoto.

Neste trabalho foram empregadas as imagens de radar (Radarsat-1) integradas às imagens óticas (Landsat 5 TM).

O objetivo de integrar esses dados foi aperfeiçoar as técnicas de Processamento Digital de Imagens (PDI) aplicadas ao monitoramento ambiental em áreas costeiras, para ressaltar as feições superficiais analisando as características das imagens de radar (relevo e textura) e das imagens óticas (parâmetro espectral).

1.1 Localização da área

A área de trabalho está localizada no litoral setentrional do Estado do Rio Grande do Norte, compreendendo uma área com 1.110,81 km² que engloba os Municípios de Porto do Mangue e Macau, além de uma pequena porção territorial dos Municípios de Guamaré, Pendências e Carnaubais, e limita-se com o Oceano Atlântico em sua porção Norte (Figura 1). O acesso é feito através de veículos pela BR 406 (distante cerca de 190 km de Natal) e por estradas municipais e/ou carroçáveis dentro da área de estudo.

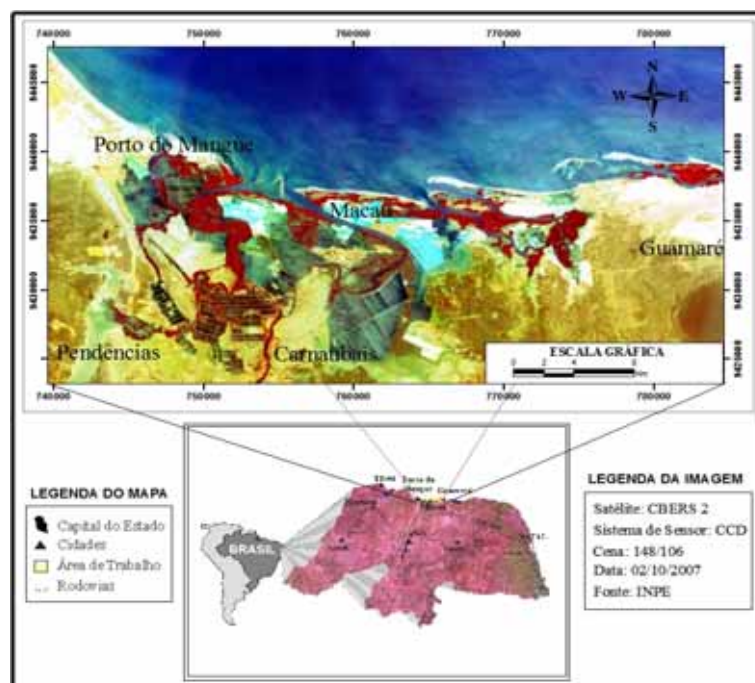


Figura 1. Mapa de Localização da área de estudo.

1.2 Aspectos Fisiográficos

De acordo com os aspectos fisiográficos, o IBGE (2007) inseriu a área de estudo dentro da microrregião de Macau, que por sua vez, faz parte da mesorregião Central Potiguar. A região é caracterizada por altas temperaturas, altas taxas de evaporação e baixa pluviosidade, com estações do ano irregulares, apresentando um período chuvoso entre os meses de Abril e Julho, e um período seco, no resto do ano. O clima predominante na área é o semi-árido (Nimer, 1972), com temperatura média anual de 27°C. A pluviosidade anual é de 600 mm e a umidade relativa do ar média de 70% (EMPARN, 2007).

Em termos hidrográficos, o Rio Piranhas-Açu se destaca como principal rio e deságua no Oceano Atlântico. Já os principais agentes atuantes nos processos costeiros ao longo da área de estudo são: o vento, as correntes marinhas, as ondas e as marés. Segundo Caldas (2002), esta região possui dois *trends* principais de vento, um NE, freqüente entre os meses de março a julho, com velocidade média de 4,8 m/s, e outro ENE, ocorrendo entre os meses de agosto dezembro, possuindo velocidade média de

7,7m/s. Respectivamente, estes ventos são classificados como fraco e moderado, de acordo com a classificação de Beaufort. O regime de meso-maré predomina nesta área, com altura máxima de 3,3 m. As ondas possuem altura média de 56 cm.

2. Metodologia

Em trabalhos prévios, a utilização das imagens óticas no mapeamento temático da área obteve relativo sucesso onde foi aproveitada a principal característica das imagens óticas, a resposta espectral dos alvos mapeados na imagem. O emprego destas imagens integradas à imagem de radar de média a alta resolução objetiva o aprimoramento das técnicas de mapeamento utilizando ferramentas de sensoriamento remoto e processamento digital de imagens, através de um produto com capacidade espectral, textural e morfológico.

As imagens utilizadas neste trabalho foram: a imagem Landsat 5 TM, cena 215/064 (que serviu de base para as outras imagens), com 7 bandas espectrais, sendo 6 bandas com resolução espacial de 30 m e uma banda termal com 120 m de resolução espacial, captada no dia 02/09/2006; a imagem Radarsat-1, com resolução espacial de 12,5 m, do dia 26/09/2006. Estas imagens passaram pelas fases de pré-processamento e posteriormente pela fase de processamento.

2.1 Processamento

Inicialmente, foi feita a ortorretificação das imagens Landsat 5 TM e Radarsat-1, através da adição de 55 pontos de controle coletados em campo. Nestas imagens foi utilizada a projeção UTM, zona 24S que abrange a área de estudo e o *Datum* utilizado foi o SAD-1969. Posteriormente, cada dado foi tratado separadamente para que fosse aproveitado todo o potencial individual das imagens. Os processamentos adotados para imagem Landsat 5 TM foram: a geração de composições coloridas sistema de cores RGB, aplicando diferentes bandas ou razões de bandas em cada canal; realce da imagem; e a geração das Principais Componentes (PC's).

Para determinar foram utilizados dois métodos: O primeiro método se baseia na análise dos parâmetros estatísticos de desvio padrão e de variância de correlação entre as bandas espectrais. Esta análise fornece o chamado FIO (Fator de Índice Ótimo) que representa a melhor combinação entre 3 bandas espectrais para diferenciar unidades superficiais (Chaves *et. al.* 1982). Quanto maior o valor de FIO, maior será a diferença entre as unidades dispostas na imagem. Este método forneceu a combinação entre as bandas 1, 4 e 5, sendo gerada a composição RGB541.

O segundo método trabalhado foi aquele no qual as bandas são utilizadas de acordo com o conhecimento espectral. As composições coloridas entre bandas ou entre razões de bandas que se destacaram foram: RGB753, RGB531, RGB432, RGB453, RGB345, RGB7/1-4/1-3/1, RGB7/3-5/3-4/3 e RGB7/4-5/3-4/2.

Após a escolha das composições RGB e razões entre bandas, cada uma passou pelo processo de realce onde foi empregada a ferramenta de realce por equalização de histograma, buscando uma melhor visualização das feições superficiais.

O próximo passo foi empregar a análise das principais componentes (PC's) que engloba as componentes dimensionais de uma imagem, onde cada banda espectral assume um espaço dimensional (Medrano *et. al.* 2005). Esta técnica é aplicada para extrair o maior contraste da imagem, em que a mesma assume cores falsas, perdendo a propriedade espectral (Boulhosa, 2006).

A análise das PC's foi feita através de dois métodos, o método seletivo e o não seletivo. No método não seletivo foram geradas as seis PC's das bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 da imagem Landsat 5 TM e foi extraída a composição R(PC1;1-7)G(PC2;1-7)B(PC3;1-

7). O método seletivo foi aplicado de modo a abranger toda a faixa espectral. Após aplicação de diferentes testes foi escolhida a PC1 das bandas do visível e a PC1 das bandas do infravermelho, compondo com a banda 4 a composição R(PC1-5,7)G(4)B (PC1-1, 2, 3).

O processamento das imagens de radar consistiu na aplicação de técnicas de reescalonamento, aplicação de filtros e realce. Primeiramente, foi feito o reescalonamento das imagens que possuíam 16 bits para 8 bits, já que os softwares utilizados não trabalham com dados de 16 bits. Posteriormente, foi aplicada a imagem Radarsat o filtro direcional *frost* 3x3 de remoção de ruído *Speckle*, característico deste dado, para em seguida, ser aplicado um filtro direcional *Kernel* N-S e a mudança do ângulo do zênite solar para 70°Az/30°, aprimorando as feições texturais e de relevo com geração de sombreamento. Por fim foi aplicado o realce linear à imagem.

2.2 Fusão de Dados

O processo de fusão de dados óticos e de radar consiste na integração de dados espectrais com os padrões texturais e topográficos gerando assim, imagens híbridas. No presente trabalho foram empregados dois procedimentos de integração de dados: as transformações de sistema de cores RGB-HSI-RGB e RGB-HSI-RGBI, respectivamente denominadas de Transformação 1 e Transformação 2.

A Transformação 1, utilizada por Boulhosa (2006), consistiu na aplicação de uma composição entre bandas, razões ou PC's nos canais RGB que posteriormente foram transformadas no sistema HSI, para que as cores fossem melhor expressas. Por fim, houve a reversão dos sistemas onde a imagem Radarsat foi posta no canal I (*Intensity*). Com a reversão do sistema, esta imagem assumiu o canal B (Azul).

A Transformação 2 consistiu na aplicação de uma composição entre bandas, razões ou PC's nos canais RGB que posteriormente foram transformadas no sistema HSI, para que as cores fossem melhor expressas. Por fim, houve a reversão dos sistemas (HSI-RGB) no qual foi adicionado o canal I (*Intensity*) ao sistema RGB, formando o RGBI.

3. Resultados e Discussões

As imagens híbridas geradas pelas Transformações 1 e 2 serviram de base para o mapeamento das unidades de uso e ocupação do solo. Após a verificação de todas as imagens híbridas (Landsat 5 TM+Radarsat-1) foram escolhidas aquelas que melhor definiram os padrões texturais, morfológicos e cores das feições mapeadas.

3.1 Interpretação das imagens híbridas

A interpretação das imagens híbridas possibilitou o mapeamento de 12 (doze) unidades de uso e ocupação do solo (Figura 2), sendo: quatro unidades de vegetação (caatinga, mangue, área de cultivo e dunas fixas), quatro unidades de exposição de solo (solo exposto, dunas móveis, planície flúvio-estuarina e bancos arenosos) e quatro unidades de atividades antrópicas (salinas evaporadoras, salinas cristalizadoras, carcinicultura e áreas urbanas), mapeadas através da interpretação das imagens híbridas.

A vegetação de caatinga foi destacada na imagem híbrida RGB541 + Radarsat-1 gerada pela Transformação 2, onde essa unidade se expôs em tons verdes claros a azuis.

A área de manguezal foi ressaltada em tons verdes claros e roxos, respectivamente, nas imagens híbridas RGB753 + Radarsat-1 e com a R(PC1;1-5,7)G(PC2;1-5,7)B(PC3;1-5,7) + Radarsat-1 (Figura 3A), ambas geradas pela Transformação 2.

A área alagadiça foi destacada na imagem híbrida R(PC1;1-5,7)G(PC2;1-5,7)B(PC3;1-5,7) + Radarsat-1 gerada pela Transformação 2, em tons verdes (Figura 3A).

As salinas evaporadoras e cristalizadoras são áreas de aprisionamento da água do mar, que anteriormente se configuravam como áreas de manguezais ou planícies de inundação, para a posterior obtenção de sal, através da evaporação da água aprisionada (Figura 3C). Essa unidade foi mapeada através das imagens híbridas R(PC1;1-5,7)G(PC2;15,-7)B(PC3;1-5,7) + Radarsat-1 (Figura 3A) e a RGB753 + Radarsat-1, formadas pela Transformação 2, apresentando em ambas, tons esverdeados.

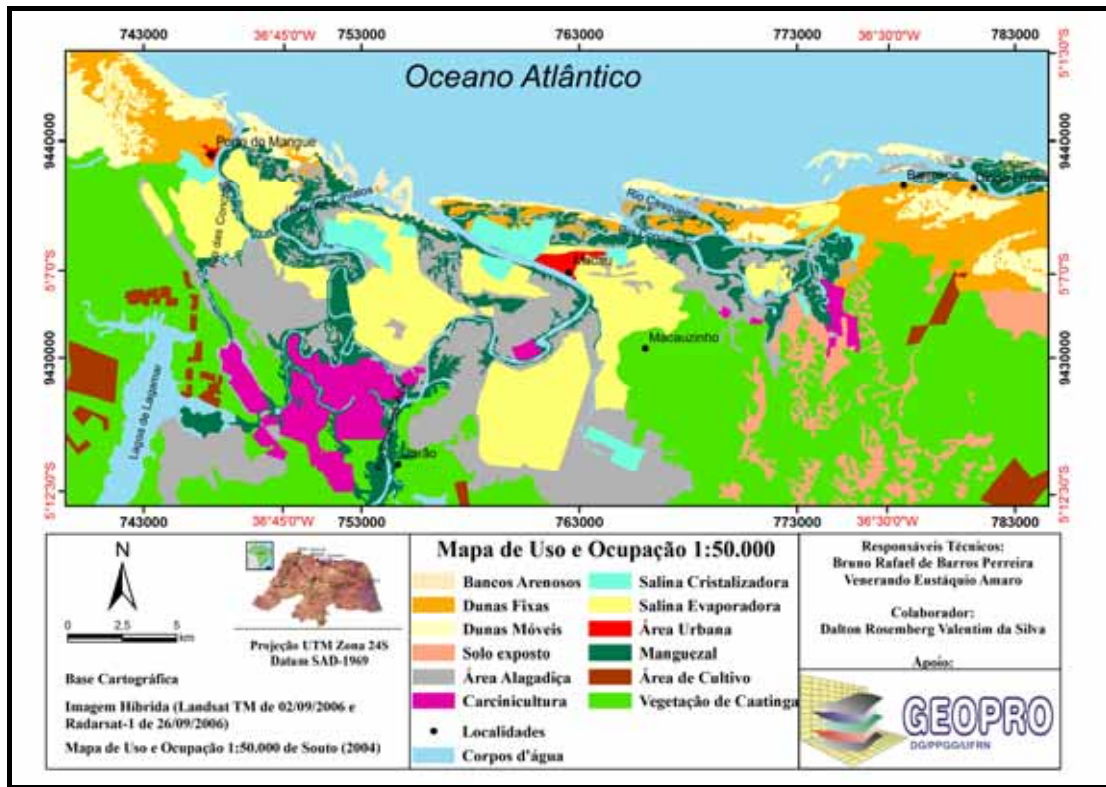


Figura 2. Mapa de unidades de uso e ocupação do solo da área de estudo.

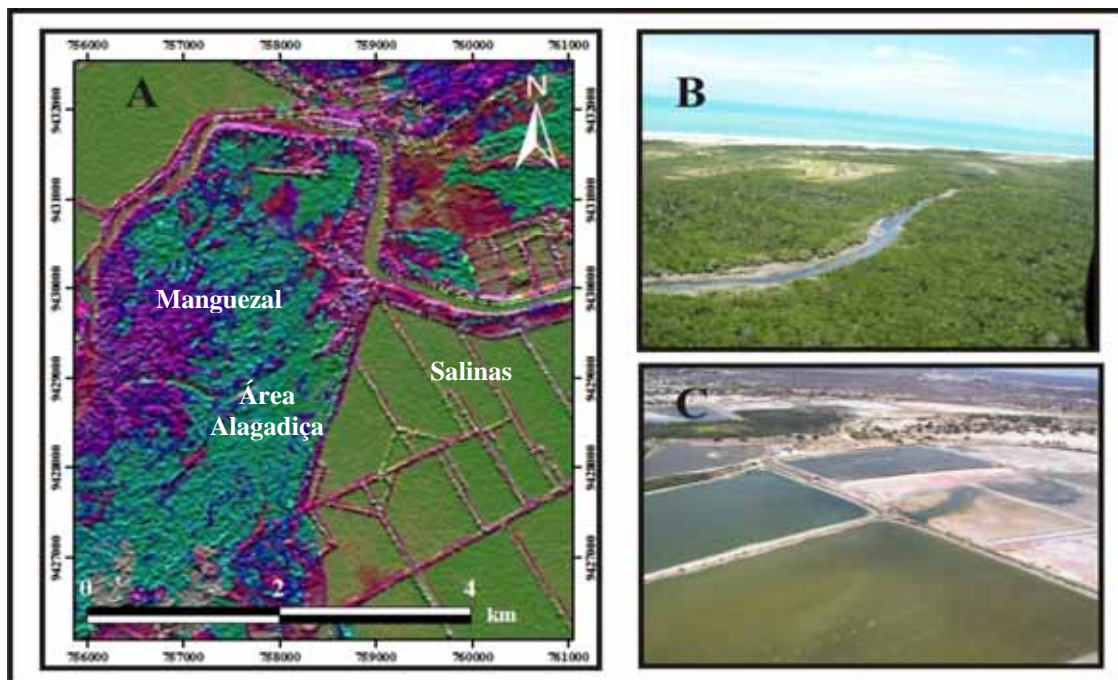


Figura 3. (A) Imagem Híbrida R(PC1;1-5,7)G(PC2;1-5,7)B(PC3;1-5,7) + Radarsat-1, gerada pela Transformação 2; (B) Manguezal; (C) Salinas.

A carcinicultura foi destacada em quase todas as imagens híbridas, apesar de sua resposta espectral ser parecida com a das salinas evaporadoras, porém uma característica singular a esta feição é a sua forma geométrica, em que são descritos pequenos quadrados ou retângulos, próximos a canais e áreas de manguezal. A imagem híbrida R(PC1;1-7)G(PC2;1-7)B(PC3;1-7) + Radarsat-1 originada pela Transformação 2 (Figura 4A), propiciou uma boa visualização desta unidade.

As áreas de cultivo estão relacionadas às culturas temporárias e permanentes de vários bens agrícolas, tais como, milho, feijão, mandioca, e por vezes, também se configuram como áreas de pastagem para o gado. A imagem híbrida que melhor retratou esta classe foi a RGB453 + Radarsat-1 que gerada pela Transformação 1, que destacou esta feição em tons laranjas a creme (Figura 4B).

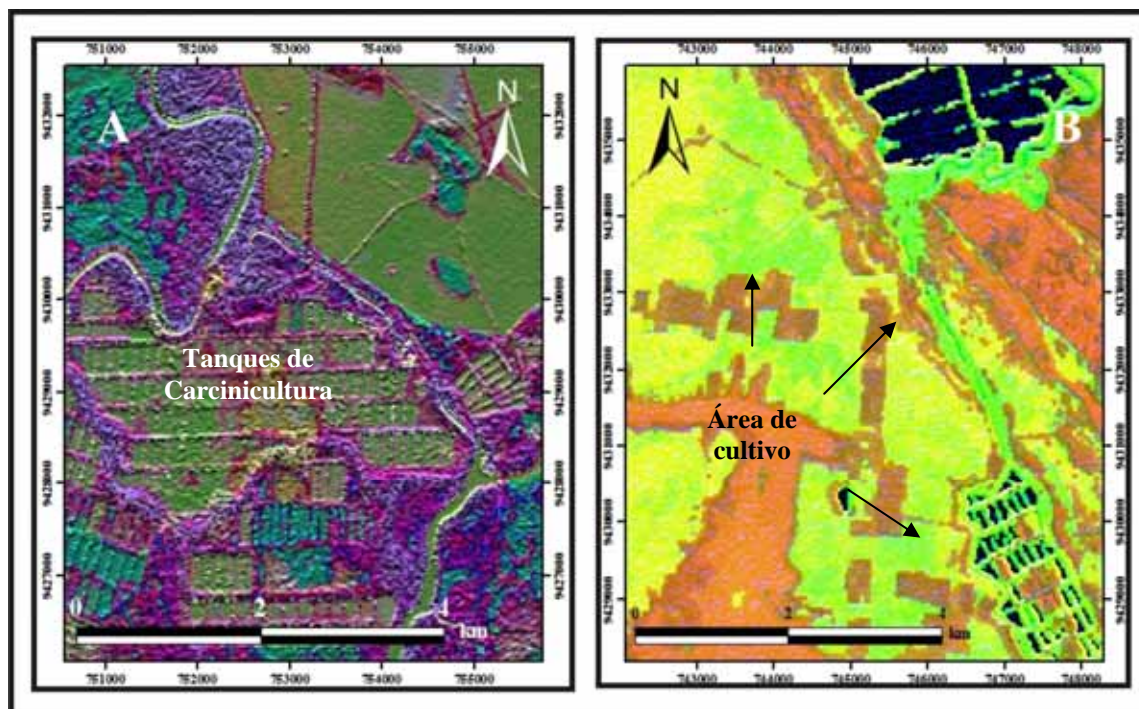


Figura 4. Imagens Híbridas: (A) R(PC1;1-5,7)G(PC2;1-5,7)B(PC3;1-5,7)+Radarsat-1, geradas pela Transformação 2; (B) RGB453+Radarsat gerada pela Transformação 1.

As dunas fixas foram retratadas na imagem híbrida RGB753 + Radarsat-1 (Figura 5A) gerada pela Transformação 1 que apresentou esta unidade com coloração verde escura e demonstraram alta rugosidade.

Os campos de dunas móveis e os depósitos de praia foram melhor destacadas nas imagens híbridas RGB753 + Radarsat-1 e RGB7/1-4/1-3/1 + Radarsat-1, geradas pela Transformação 1, respectivamente, que ressaltaram esta unidade em cor vermelha escura e roxa (Figura 5A) e tons creme.

Os bancos arenoso-argilosos são feições encontradas próximas ao estuário de rios decorrentes do transporte de sedimentos pela ação marinha. A imagem RGB7/1-4/1-3/1 + Radarsat-1 gerada pela Transformação 1, expôs essa feição em tons cremes a laranjas.

A área de solo está vinculada a ação antrópica onde é feito o serviço de terraplanagem, por exemplo. A imagem híbrida RGB7/1-4/1-3/1 + Radarsat-1, gerada pela Transformação 1, foi a que melhor retratou esta classe, a expondo em tons avermelhados.

As áreas urbanas são os centros habitáveis. Na área de trabalho, os mais representativos são os centros urbanos dos municípios de Macau e de Porto do Mangue.

A imagem híbrida R(PC1;1-5,7)G(PC2;1-5,7)B(PC3;1-5,7) + Radarsat-1 destacou esta feição em tons azuis esverdeados.

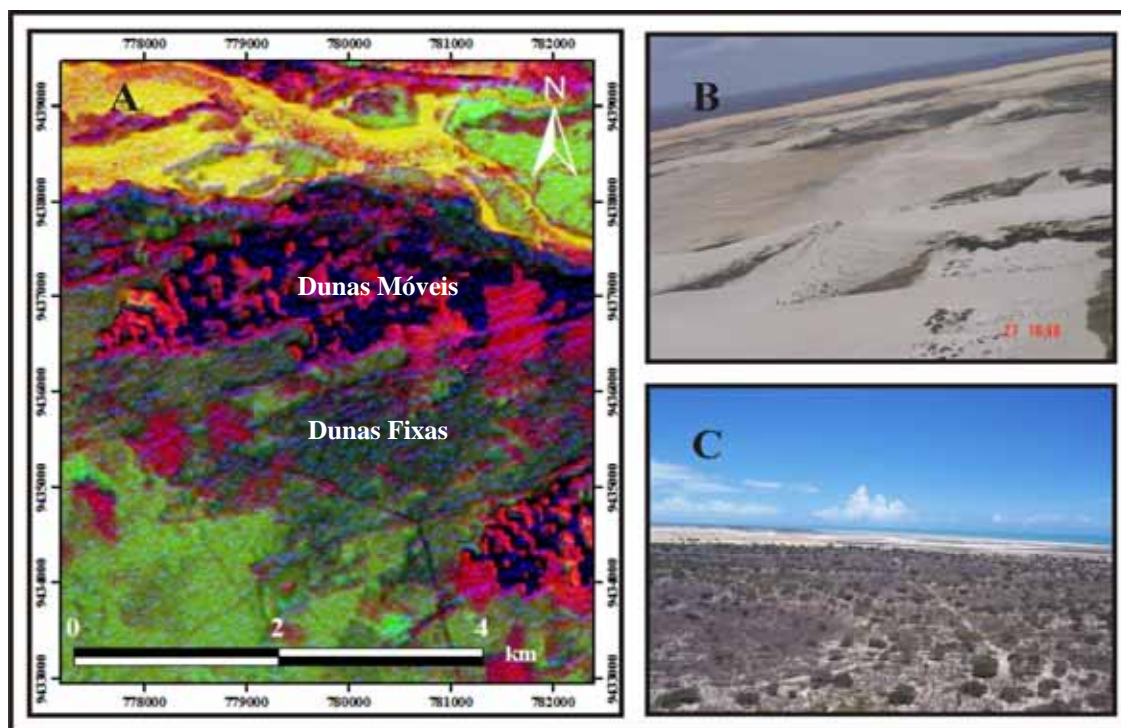


Figura 5. (A) Imagem Híbrida RGB753 + Radarsat-1, gerada pela Transformação 1; (B) Campo de Dunas Móveis; (C) Dunas Fixas.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia empregada neste trabalho atendeu satisfatoriamente às necessidades pré-estabelecidas, visto que todos os objetivos foram cumpridos. O uso de dados multisensores Landsat 5 TM (02/09/2006), Radarsat-1 (26/09/2006) estabeleceu uma nova metodologia ao mapeamento das unidades de uso e ocupação do solo em áreas similares àquela encontrada no litoral setentrional do Estado do Rio Grande do Norte.

Os processamentos individuais feitos a cada imagem individualmente trouxe o aperfeiçoamento visual de cada dado, em que se obteve a melhor visualização espectral dos alvos na imagem Landsat 5 TM (02/09/2006), a excelente visualização de texturas e de topografia na imagem Radarsat-1 (26/09/2006).

A análise do método de FIO na imagem Landsat 5 TM determinou a composição RGB541 como a melhor para o mapeamento das unidades.

A análise espectral das bandas do Landsat 5 forneceu as composições RGB753, RGB531, RGB432, RGB453, RGB345, RGB7/1-4/1-3/1, RGB7/3-5/3-4/3 e RGB7/4-5/3-4/2 e das Principais Componentes das bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 da imagem Landsat 5 TM na qual foi extraída a composição R(PC1;1-5,7)G(PC2;1-5,7)B(PC3;1-5,7) e a composição que abrangeu todo o espectro eletromagnético, R(PC1;5-7)G(4)B(PC1-1,2,3), auxiliaram o mapeamento temático dando uma excelente resposta espectral e visual (no caso das PC's) complementando aquela encontrada pelo método de FIO.

Os procedimentos de fusão de dados óticos e radar propiciaram a geração de imagens híbridas com potencial espectral, textural e morfológico.

Os processos de fusão, Transformação 1 e Transformação 2, deram uma excelente resposta ao mapeamento das unidades de uso e ocupação do solo, onde na Transformação 1, as cores foram destacadas, apesar da perda dos tons azuis, devido o

posicionamento da imagem Radarsat-1 ter assumido o canal B, na reversão e na Transformação 2, foram destacadas as feições texturais e a morfologia do terreno.

Na Transformação 1, se destacaram as composições: RGB453 + Radarsat-1, RGB541 + Radarsat-1, RGB753 + Radarsat-1, R(PC1;1-5,7)G(PC2;1-5,7)B(PC3;1-5,7) + Radarsat-1 e RGB7/1-4/1-3/1 + Radarsat-1. Na Transformação 2, RGB541 + Radarsat-1, RGB753 + Radarsat-1, R(PC1;1-5,7)G(PC2;1-5,7)B(PC3;1-5,7) + Radarsat-1 e RGB7/1-4/1-3/1 + Radarsat-1.

A interpretação das imagens híbridas possibilitou o mapeamento de 12 unidades de uso e ocupação do solo, sendo quatro vinculadas a vegetação: vegetação de caatinga (235,98 km²), vegetação de manguezal (57,28 km²), áreas de cultivo (16,80 km²) e dunas fixas (54,29 km²); quatro vinculadas à exposição de solo: dunas móveis (42,94 km²), bancos arenosos (2,46 km²), solo exposto (30,79 km²) e área alagadiça (105,65 km²); e quatro ligadas a ação antrópica: salinas evaporadoras (87,02 km²), salinas cristalizadoras (15,83 km²), carcinicultura (27,55 km²) e áreas urbanas (2,17 km²).

AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório de Geoprocessamento (GEOPRO) da UFRN e todos que o compõe, ao Prof. Dr. Venerando Eustáquio Amaro, a Dalton Rosemberg Valentim da Silva, a Agência Nacional do Petróleo (ANP) e a Rede Cooperativa de Pesquisa em Monitoramento Ambiental de Áreas sob influência da Indústria Petrolífera, através dos projetos PETRORISCO e HIDROSEMA.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Boulhosa, M. B. M. **Análise de imagens Landsat ETM, Radarsat-1, e modelos numéricos de terreno para o mapeamento dos índices de sensibilidade ambiental do derramamento de óleo na costa de manguezais do nordeste do Pará.** 2006. 134 p. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Pará, Belém/PA. 2006.

Caldas, L. H. O. **Late Quaternary coastal evolution of the northern Rio Grande do Norte coast, NE Brazil.** 2002. 92p. PhD thesis. University of Kiel, Germany, 2002.

Cháves, P. S. J.; Berlin, G. L.; Bowel, J. A. Statistical method for selecting Landsat MSS Ratios. **Journal of Applied Photogrammetry and Engeniering.** v. 8 (1) p. 23-30. 1982.

EMPARN, Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte. **Metereologia.** Disponível em: <<http://www.emparn.rn.gov.br/links/meteorologia/meteorologia.asp>>. Acesso em: 05 de julho de 2008.

IBGE - **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.** Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/>>. Acesso em 07 de julho de 2008.

Medrano, M. C. N.; Corona, A. H.; Barajas, A. M. Caracterización litológica de regiones desérticas mediante técnicas de percepción remota: Un ejemplo en la franja costera central de Baja California, México. **Revista Mexicana de Ciências Geológicas.** v.22, n. 2, p.229-245. 2005.

Nimer, E. Climatologia da Região Nordeste do Brasil. Introdução à Climatologia Dinâmica. **Revista Brasileira de Geografia.** v. 34 (2): p. 3-51. 1972.