

Uso de Geoprocessamento no Diagnóstico Ambiental de Ambientes Costeiros

Estudo de Caso: Baía de Sepetiba e Plataforma Continental de Cabo Frio, RJ – Brasil

LIANE MARIA AZEVEDO DORNELLES¹

SUZANNA CARREIRO CALACHE²

ANNA ELIZA SVARTMAN DIAS²

BÁRBARA SANTANA MENDONÇA²

KARLA DE ALMEIDA CRISTELLO¹

CRISTIANO DE LIMA MACIEL BARROS²

¹UERJ–Departamento de Oceanografia, R. São Francisco Xavier, 524/4030-E, 20550-013 Rio de Janeiro, RJ, Brasil
dornelle@iis.com.br

²UERJ–Faculdade de Geologia

caillean_rj@bol.com.br, annaeliz@ig.com.br, bsmendoca@bol.com.br, clmbarros@ig.com.br

Abstract

This paper describes the use of Geographic Information Systems called SAGA/UFRJ, SISPLAMTE/SENSORIA and SPRING/INPE in the generation of Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb and Zn spatial distribution referring databases in the bottom sediments of the Sepetiba Bay (RJ) and inner continental shelf of Cabo Frio (RJ) and its association with the organic matter, calcium carbonate and textural facies.

Resumo

Este trabalho descreve o uso dos programas SAGA/UFRJ, SISPLAMTE/SENSORIA e SPRING/INPE na geração de bases de dados referentes a distribuição espacial de Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn, em sedimentos superficiais de fundo da baía de Sepetiba (RJ) e plataforma continental interna adjacente ao Cabo Frio (RJ), em associação com a matéria orgânica, carbonato de cálcio, minerais de argila e classes texturais.

1 Introdução

Registros mundiais de regiões costeiras impactadas por metais pesados encontram-se associados ao crescimento industrial e urbano desordenado, com severas conseqüências ao meio ambiente. Como principais fatores impactantes temos a descarga direta de efluentes industriais e de comunidades; descargas de esgotos; despejo de resíduos de navios, carga solúvel e em suspensão dos rios; precipitação atmosférica; resíduos oriundos da extração de matérias-primas do mar e poluição por indústrias navais. As principais causas da poluição no Estado do Rio de Janeiro são o esgoto doméstico sem tratamento adequado, efluentes industriais, escoamento de resíduos domésticos não recolhidos, resíduos sólidos, resíduos agrícolas, águas pluviais, emissões dos setores da indústria e transporte e queima de resíduos sólidos (Förstner & Wittmann, 1979; Banco Mundial, 1996).

O uso de Sistemas Geográficos de Informação (SGI, SIG, GIS) embasando o apoio à decisão, voltado para problemas ambientais, consiste atualmente numa realidade mundial e brasileira. A integração de SGI's, que tratam de dados geográficos, e Sistemas Gerenciadores de Bancos

de Dados (SGBD's), que tratam dados de caráter tabular, consiste num dos desafios atuais na área do Geoprocessamento, pois ambos têm seus métodos de controle, o acesso e a manutenção de suas bases de dados. Dentro deste escopo inserem-se o Sistema de Análise Geo-ambiental - SAGA/UFRJ, desenvolvido pela equipe do Laboratório de Geoprocessamento (LAGEOP), do Departamento de Geografia do IGEO/UFRJ; o Sistema de Apoio ao Planejamento e Monitoramento Territorial - SISPLAMTE, desenvolvido e distribuído pela Sensoria (Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Ltda.), e o Sistema para Processamento de Informações Georreferenciadas-SPRING, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Este trabalho descreve a geração de bases de dados, implementadas com auxílio dos programas SISPLAMTE, SAGA e SPRING, tendo como base os levantamentos efetuados por Dornelles & Küsel (1997), Cristello & Dornelles (1997), Dornelles (1998), Dornelles et al. (1998^a, 1998^b), Cristello (1998), Dornelles (1999), Dornelles & Damazio-da-Silva (1999), Dornelles (2000^a, 2000^b, 2000^c), Dornelles & Damazio-da-Silva (2000), Dornelles (2001^a, 2001^b, 2001^c), Dornelles et al. (2001), Dornelles &

Mendonça (2001), Mendonça (2001), Calache (2001), Dias (2001), entre outros, com especial atenção para os principais metais impactantes da baía de Sepetiba (Cd e Zn), geração de mapas de distribuição espacial de Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn, em sedimentos superficiais de fundo da plataforma continental interna adjacente ao Cabo Frio - RJ, baseados em valores de *background*, além da caracterização de sedimentos superficiais de fundo através de assinaturas ambientais das classes texturais areia, areia com lama, lama com areia e lama.

2 Áreas de estudo

Situada a aproximadamente 60 km a oeste da cidade do Rio de Janeiro, a baía de Sepetiba consiste num corpo receptor de descargas líquidas, sólidas e solúveis oriundas do sistema fluvial da bacia de Sepetiba (Santos et al., 1996). Com o rápido e desordenado crescimento urbano e industrial, ao longo dos últimos 20 anos, a contaminação ambiental da referida baía, por cádmio e zinco, tem gerado problemas ambientais e sócio-econômicos tais como a contaminação de sedimentos superficiais de fundo, material em suspensão, água e organismos aquáticos. Concentrações elevadas de Cd (3,6-33 µg/g) e Zn (853-8590 µg/g), em sedimentos da área em torno da ilha da Madeira, foram detectadas após a ocorrência de um vazamento no dique de rejeitos da Companhia Mercantil e Industrial Ingá. (ALERJ *apud* Dornelles, 2000^c)

A área de pesquisa de Cabo Frio localiza-se na plataforma continental sudeste brasileira, sendo delimitada ao norte pela ilha dos Papagaios, ao sul e leste pelas isóbatas de 100 e 75 metros, respectivamente, e a oeste pela ilha do Cabo Frio. Segundo Dornelles (1993) os valores mais elevados de Cr, Cu, Fe, Zn e Pb, encontrados nos sedimentos de fundo próximos à ilha do Cabo Frio, em associação com o conteúdo de matéria orgânica, fração fina (< 0,062 mm), minerais de argila e carbonato de cálcio, pode ser indicativo de uma possível contribuição antropogênica da baía de Guanabara e rio Paraíba do Sul. Saavedra (1994) ao estudar a dinâmica sedimentar na plataforma continental interna entre a ilha do Cabo Frio e Cabo Búzios, constatou a existência de depósitos de lama próximos à costa, mostrando que o depocentro está sendo formado por duas populações de sedimentos: uma oriunda, em parte, do rio Paraíba do Sul e a outra de maiores profundidades, que estaria sendo ressuspendida, por ocasião da ressurgência e conduzida por vórtices associados até a região estudada. Teores expressivos de Cd (2,11 µg/g) foram encontrados nos sedimentos superficiais de fundo coletados próximo à enseada dos Anjos - Arraial do Cabo. (Dornelles et al., 1996, Dornelles et al., 1998^a)

As regiões propostas para estudo encontram-se em maior (baía de Sepetiba) ou menor grau (plataforma continental de Cabo Frio) impactadas por metais pesados, sendo de extrema importância a utilização do Geoprocessamento, buscando-se uma metodologia que viabilize futuros trabalhos de monitoramento, tendo em vista as áreas impactadas e suas respectivas fontes de origem antropogênica ou não (Figura 1).

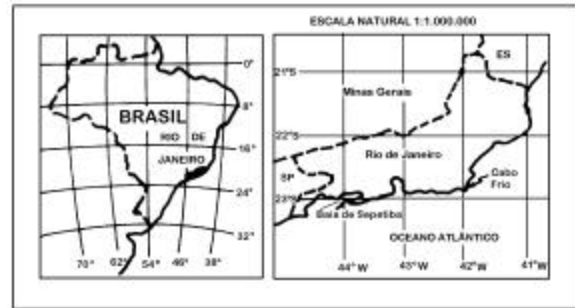


Figura 1: Mapa de localização das áreas.

3 Material e métodos

3.1 Trabalho de campo

Amostras de sedimentos superficiais de fundo e de água superficiais foram coletadas em 7 estações de monitoramento na baía de Sepetiba, com amostrador do tipo Ekman e recipientes de polietileno de 10 litros, respectivamente, em agosto de 1996 e abril de 1997. Foram obtidas, também, sub-amostras nos intervalos 0,75, 1,35 e 2,25 cm, de sedimentos subsuperficiais, coletados no manguezal de Guaratiba, utilizando-se um testemunhador tipo *vibracore* com tubo de alumínio de 6 metros de comprimento, 3” de diâmetro interno e paredes de 3 mm de espessura. No tocante à plataforma continental de Cabo Frio, 54 amostras de sedimentos superficiais de fundo foram coletadas com auxílio de busca-fundo do tipo Van Veen, além de 27 sub-amostras (intervalos de 0 a 5 cm; 5 a 10 cm e 10 a 15 cm) de sedimentos de 9 testemunhos, coletados com auxílio de "Box Core" (Dornelles, 1998; Dornelles et al. 1998^b; Dornelles, 2000^a, 2000^c).

3.2 Trabalho de laboratório

Objetivando-se a caracterização granulométrica, para cada 20 g de amostra de sedimento foram eliminados os sais solúveis, a matéria orgânica (H₂O₂ a 10%) e os carbonatos (HCl a 30%). A fração grossa (> 0,062 mm) foi peneirada a seco (1/2 φ), sendo a fração fina (< 0,062 mm) separada por pipetagem (Suguio, 1973). Após, foram calculados os parâmetros estatísticos de Folk & Ward (1957) e realizada a classificação textural segundo Shepard (1954).

Para a análise da fração argila, por difração de raios-X, amostras de sedimentos superficiais de fundo também foram lavadas e posteriormente tratadas com H₂O₂ e HCl. Em seguida foram centrifugadas, visando-se a separação da fração menor do que 2 micra, preparadas lâminas orientadas e corridas no difratômetro Siemens D5000. As lâminas foram analisadas em estado natural, glicoladas e aquecidas por 4 horas a 490°C (Dornelles, 2000^f).

Para a obtenção da denominada fração móvel amostras de sedimentos (5 g) foram tratadas com 50 ml de HCl 0,1 N por 16 horas em repouso e filtradas. Este método extrai os metais que se encontram retidos na superfície das partículas sedimentares, nos sítios trocadores de cátions, bem como fracamente adsorvidos por óxidos e hidróxidos de Fe e Mn, representando a fração disponível para a biota. Na segunda técnica de extração amostras de sedimentos (2 g) foram secas a 80° C por 24 horas, repesadas e digeridas a 70° C com água régia (HCl + HNO₃ na proporção de 3:1), e evaporadas. Posteriormente foram redissolvidas em HCl 0,1 N, filtradas e diluídas a um volume final de 20 ml. Este método extrai os metais pesados associados com a matéria orgânica, carbonatos e hidróxidos de Fe e Mn, ou seja, a maioria dos metais considerados como potencialmente biodisponíveis. Em relação ao material em suspensão, foram filtrados três litros de água para cada amostra utilizando-se uma bomba peristáltica, um kit Millipore e filtros de acetato de celulose com diâmetro de 142 mm e 0,45 µm de poro. O particulado em suspensão retido nos filtros (0,2 g) foi submetido à lixiviação com HCl 0,1 N por 16 horas em repouso, evaporado até 20 ml (70° C) e filtrado. Após, o resíduo foi digerido com água régia (70° C), evaporado, redissolvido com HCl 0,1 N, filtrado e diluído ao volume final de 20ml. Extratos, em duplicata, foram analisados por espectrofotometria de absorção atômica convencional de chama para Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn. Os resultados foram expressos em µg/g de peso seco (Dornelles, 1998; Dornelles et al. 1998^b; Dornelles, 2000^a, 2000^c).

3.3 Trabalho de gabinete

A seguir encontram-se descritas as principais características e etapas associadas ao três programas utilizados na presente pesquisa:

SAGA/UFRJ, composto pelos módulos MONTAGEM (responsável pela entrada de dados: arquivos no formato padrão TIFF); TRAÇADOR VETORIAL (TRAÇAVET) utilizado para realizar, de forma interativa (usuário mais computador) o reconhecimento de módulos georreferenciados criados pelo MONTAGEM e o ANÁLISE AMBIENTAL com três funções básicas: **Assinatura** (“usada para definir as características e a planimetria de área(s) delimitada(s) pelo usuário”),

Monitoria (“permite definir e calcular as áreas alteradas e o destino dado a elas”, pois esta função permite que se trabalhe com registros sucessivos de fenômenos ambientais através de mapeamentos em épocas distintas) e **Avaliação Ambiental** (que faz uso da superposição de mapas, aos quais são dados pesos e também notas, para cada tipo de legenda, de acordo com sua menor ou maior importância na avaliação de riscos e potenciais ambientais). O SAGA possui o módulo SAGA-BD, o qual “permite pesquisa em um Banco de Dados Convencional cujo resultado será localizado no mapa pertencente ao Banco de Dados Geográficos e vice-versa” (Xavier-da-Silva et al., 1996, págs. 283-287). A elaboração de mapas de isoteores foi feita através do uso integrado dos programas SAGA e SURFER, utilizando-se a krigagem, com um variograma linear (Dornelles, 2000^b). Durante o processo de importação dos arquivos, no formato TIFF para RST inicial, foram criados elos de ligação entre as categorias, visando a futura criação de um Banco de Dados. **Avaliações Ambientais Complexas**, que consistem em processos oriundos de cotejos entre avaliações simples ou de uma avaliação simples *versus* um dado básico foram utilizadas na geração de mapas espaço-temporais. Mapas de distribuição dos sedimentos superficiais de fundo e de risco de poluição por metais pesados foram obtidos através de **Avaliações Ambientais Diretas**, sendo as **Assinaturas Ambientais** utilizadas na diagnose das possíveis associações existentes entre os teores de metais pesados, concentrações totais de material em suspensão, granulometria dos sedimentos, percentual de carbonato de cálcio, minerais de argila, minerais leves e pesados, matéria orgânica e também como instrumento de cotejo entre demais informações.

SISPLAMTE/SENSORIA, consiste num "conjunto de procedimentos e especificações coerentes e interligados que conduzem no sentido da produção de informações espaciais", tendo como características identificadoras ser dimensionado para o usuário final, apresentar semântica interna voltada para a equação do problema, possuir um método de organização da Base de Dados, análises e acesso às informações, além de possuir um *software* que operacionaliza seu funcionamento e procedimentos, em ambiente digital, de forma rápida e eficiente. No tocante à estrutura lógica, o SISPLAMTE possui um Banco de Dados, que retrata os meios Físico, Biótico, Sócio-Econômico e Aspectos Jurídicos-Institucionais, o qual armazena registros gráficos (mapas) ou literais (textos), além de imagens, gráficos, fotos, dentre outros, sendo o acesso às informações viabilizado através de distintas funções. Sua implantação, em andamento, consiste em sete etapas: determinação da base do projeto, contendo especificações gerais, semi-detalhadas e específicas, além dos requisitos gerais do sistema; aquisição dos dados,

incluindo dados gráficos e literais, atualização dos dados; preparo dos mapas para digitalização, produção de *overlay*; digitalização e edição dos mapas; produção e digitação dos textos; testes do sistema, além de análises e interpretações (Sisplamte, 2000).

SPRING/INPE (<http://www.dpi.inpe.br/spring>), um Banco de Dados geográficos de 2ª geração, cujas funções principais são, entre outras, integrar as tecnologias de Sensoriamento Remoto e SIGs em um ambiente totalmente interativo e de fácil manuseio, como também fornecer ao usuário um ambiente interativo para visualizar, manipular e editar imagens e dados geográficos (Spring, 1999). O Módulo de Geoestatística do SPRING, construído sobre a biblioteca GSLIB (Geostatistical Software Library), está sendo utilizado na geração de mapas de isotores de matéria orgânica, carbonato de cálcio e fração fina, utilizando-se o método de krigeagem.

Perfis dos SGIs em apreço, contendo avaliações das *performances* dos tutoriais referentes aos módulos utilizados, resumo do projeto, publicações geradas, referências bibliográficas consultadas, além de links de interesse contendo pesquisas desenvolvidas nas Geociências, com o uso do SAGA, SISPLAMTE e SPRING, estão sendo incluídos em portfólios eletrônicos, elaborados com auxílio do programa *Netscape Composer*.

4 Resultados

4.1 Baía de Sepetiba

Foram gerados mapas de risco de poluição por metais em geral (RPG-1996/1997), por cádmio (RPCdMPM-1996/1997) e por zinco (PZnM-1996/1997 e RPZnMPM-1996/1997), em sedimentos superficiais de fundo, sendo a caracterização das áreas de risco de poluição efetuada através de **Assinaturas Ambientais** (Dornelles, 2000^c).

As assinaturas referentes à classe de alto e altíssimo risco de poluição por metais pesados em geral - 1996/1997, como também por Cd e Zn, no tocante à fração potencialmente móvel sugerem um agrupamento entre cádmio, cobre, níquel, chumbo e zinco, grupo de metais considerado em estudos pretéritos.

Resultados mais expressivos das **Assinaturas Ambientais**, referentes aos mapas de risco RPG-1996/1997, RPCdMPM-1996/1997, RPZnM-1996/1997 e RPZnMPM-1996/1997 evidenciam um aumento nos teores de CaCO₃, fração fina, matéria orgânica e minerais de argila, associado ao aumento do risco de poluição dos sedimentos de fundo da baía de Sepetiba por metais, no período e área em estudo.

Em linhas gerais, as classes de médio, alto e altíssimo risco situaram-se ao sul da ilha da Madeira, na parte central

da baía e na costa norte/nordeste, respectivamente. Teores de cádmio entre 15 a > 30 vezes o *background* (0,2 µ g.g⁻¹ de peso seco) e de zinco entre 10 a > 30 vezes o *background* (50 µ g.g⁻¹ de peso seco), obtidos em 1996/1997, associaram-se às classes de alto e altíssimo risco de poluição, caracterizando a região em estudo com área de contaminação moderada (Dornelles, 2000^c).

As principais questões necessárias à implantação do SISPLAMTE foram trabalhadas, levando-se em consideração o conteúdo inicial do projeto, em termos de aplicações associadas às áreas de Oceanografia Biológica, Física, Geológica e Química. Como exemplos tem-se o mapeamento espacial das comunidades bênticas, caracterização de sedimentos superficiais de fundo, delimitação de áreas de influência de massas d'água, caracterização de manguezais.

A base de referência cartográfica selecionada (1:100.000), contém as coordenadas, limites da área, hidrografia e rede viária principal, além dos principais núcleos urbanos. Os diferentes planos de informação e sub-planos selecionados foram topográfico (rede hidrográfica e curvas de batimetria); geológico (estratigrafia e faciologia); águas (de superfície e sub-superfície); oceanográfico (temperatura, salinidade, correntes, marés e nutrientes); poluição (águas oceânicas e águas estuarinas); fauna silvestre (aquática e ecossistemas); planos e projetos (destinações propostas - porto); fotos (orbitais e aéreas); imagem e diversos (planos de informações associados a modelagem).

Foram definidas as seguintes funções de acesso às informações: SELECT - *Seleção da Área de Interesse*; EXPLA - *Expor Plano de Informação (PI)*, sobre a Base de Referência Cartográfica, são projetados todos os elementos que compõem o PI selecionado; EXSPL - *Expor Sub-Plano de Informação (SPI)*, sobre a Base de Referência, são projetados somente os elementos que compõem o SPI (tema) selecionado; EXELE - *Expor Elemento*, sobre a Base de Referência é projetado somente o elemento especificado; RETRO - *Retrospectiva de Elemento*, elementos gráficos ou literais, são expostos em épocas passadas; CONFR - *Confronto de Elementos*, sobre as Bases de Referência, projetam-se os elementos selecionados; CRUZE - *Cruzamento de Elementos*, permite a identificação de áreas/lugares, onde coincide a presença dos elementos especificados; DESEN - *Desenho Livre*, esta função permite que o operador desenhe livremente sobre a Base de Referência; ATUAL - *Atualização do SISPLAMTE*, permite a atualização de ficha de atributos dos elementos, elementos gráficos.

Como funções complementares foram selecionadas: ORIG'S - *Gestão de Originais*, permite o controle e acesso a originais (textos, mapas, fotos, etc.) utilizados para

compor a base de dados do SISPLAMTE, ou outros; APLIC'S - *Acesso a Aplicativos*, permite o acesso a softwares de aplicações específicas (Ex: tratamento de imagens de satélite, modelos 3D).

4.2 Plataforma continental de Cabo Frio

As classes texturais foram caracterizadas em termos totais de esfericidade e arredondamento, a partir de **Assinaturas Ambientais**, sendo que a classe textural *areia* apresenta, em sua maioria, grãos angulares e de baixa esfericidade, ocorrendo um predomínio de partículas subangulares com baixa esfericidade; *areia com lama* caracteriza-se por apresentar, em sua maioria, grãos subangulares e de baixa esfericidade, ocorrendo um predomínio de partículas subarredondadas com baixa esfericidade; *lama com areia* apresenta, em sua maioria, grãos subangulares e de baixa esfericidade, ocorrendo um predomínio de partículas sub-angulares com alta esfericidade, e a classe textural *lama* caracteriza-se em termos totais de esfericidade e arredondamento por apresentar, em sua maioria, grãos angulares com mistura de baixa e alta esfericidade, ocorrendo um predomínio de partículas subangulares com baixa esfericidade. Segundo Saavedra (1994), a presença da denominada esfericidade misturada aponta para um provável encontro de populações distintas indicando, conforme Saavedra (1994), que a região em estudo vem sofrendo aporte de sedimentos, em sua maioria angulares, característicos de ambiente fluvial, provenientes provavelmente dos rios São João, Macaé e, principalmente, Paraíba do Sul. Estes sedimentos são transportados em suspensão e/ou saltação devido ao fato de possuírem, em maior parte, as classes modais em 3,5 e 4 ϕ (areia muito fina), que permanecem mais tempo flutuando na massa d'água, além de possuírem maior facilidade de serem ressuspendidas com aumentos na intensidade dos processos hidrodinâmicos (Damazio-da-Silva, 2000).

No tocante à fração potencialmente móvel, as classes de alto e altíssimo risco de poluição por metais em geral e por Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn, em sedimentos superficiais de fundo, associaram-se às regiões com percentuais elevados de matéria orgânica e fração fina, bem como as áreas com concentrações mais elevadas dos metais anteriormente citados. Com relação à fração móvel, a classe de alto risco de poluição por metais em geral e a classe de altíssimo risco de poluição por Cu e Pb, associaram-se às regiões com percentuais elevados de matéria orgânica e fração fina. As áreas com concentrações mais elevadas de Cu e Pb associaram-se às áreas de médio a alto risco de poluição em geral. As classes de alto e altíssimo risco de poluição vincularam-se às regiões com percentuais mais elevados de matéria

orgânica e fração fina. Os resultados das avaliações ambientais (riscos de poluição) foram corroborados pelos das assinaturas ambientais, referentes às classes de altíssimo risco de poluição por Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn, os quais evidenciaram vínculos destes metais com a fração fina e a matéria orgânica na área em estudo (Dornelles et al. 1998^b; Cristello, 1998).

Os teores médios obtidos através das análises dos metais nos sedimentos dos testemunhos de sondagem (Quadros 1 e 2), estão sendo utilizados, como valores de *background*, para a elaboração de novos mapas de distribuição espacial, a partir de **Avaliações Ambientais** (Calache, 2001; Dias, 2001).

$\mu\text{g/g}$	Mn	Ni	Pb	Zn
Conc. Mínima	9,3	1,4	2,8	0,3
Conc. Máxima	25,1	2,1	4,0	2,8
Conc. Média	16,9	1,8	3,3	0,9

Quadro 1: Sub-amostras (móvel).

$\mu\text{g/g}$	Mn	Ni	Pb	Zn
Conc. Mínima	23,7	3,1	4,3	6,7
Conc. Máxima	143,6	15,8	18,1	36,0
Conc. Média	83,9	8,3	11,5	20,6

Quadro 2: Sub-amostras (potencialmente móvel).

4.3 Performance do SPRING

Durante as etapas de avaliação do programa em questão, baseadas na execução do roteiro de atividades denominado "Como Iniciar?" e de um tutorial, contendo aulas conceituais e práticas, procurou-se tecer comentários sucintos, pertinentes a apresentação, facilidade de operação e adaptação, tendo em vista sua utilização em futuros projetos relacionados às Geociências. Ao término de cada etapa, os objetivos previstos foram devidamente avaliados e comentados.

Os conteúdos dos módulos do roteiro "*Como Iniciar?*" são apresentados de forma bem objetiva e sucinta, favorecendo uma *performance* adequada por parte do usuário. No tocante ao tutorial ressalta-se, em todas as aulas, a existência de tópicos conceituais concisos e bem elaborados, embasando as tarefas de cunho prático. A aula 1: Visão Geral do SPRING - apresenta uma revisão dos tópicos associados às tarefas contidas nos passos iniciais do roteiro "*Como Iniciar*", acrescida da manipulação do banco de dados **Curso**, com análises e explicações bem claras, favorecendo a fixação dos conceitos abordados.

Aula 2: Leitura de Imagens – o usuário faz uso do módulo "Impima" durante as etapas de leitura ou conversão de imagens para o formato GRIB (gridded binary), provenientes de satélites (TM-Landsat, SPOT, entre outros), fotos "scanerizadas" ou até mesmo dados vetorizados. Definições sucintas de imagem digital, caracterização de imagens, resolução e banda, facilitam a execução dos procedimentos de leitura e conversão de imagens, nos formatos Windows e Unix. (Figura 2). Aula 3: Registro de Imagens - refere-se propriamente ao registro das imagens, anteriormente convertidas pelo "Impima", utilizando-se mesa digitalizadora, teclado ou tela. Para tal são definidos um novo banco de dados e um novo projeto, fazendo com que esta aula seja das mais relevantes, propiciando ao usuário organizar, estruturar e desenvolver seu trabalho desde o início. Aula 4: Processamento de Imagem – módulo prático, enfocando as técnicas de processamento de imagem contraste, leitura de pixel, transformação IHS, operações aritméticas, filtragem, eliminação de ruídos, estatística de imagens, restauração e análise por componentes principais. Por tratar-se de um módulo bastante complexo, o usuário poderá ter dificuldade de realizar certas tarefas, sugerindo-se a leitura do item Processamento Digital de Imagens, disponível em tópicos conceituais. Aula 5: Classificação – módulo complexo, abarcando as partes conceituais e práticas dos métodos de classificação de imagens multi-espectrais, além dos procedimentos de execução de um mosaico entre imagens de regiões adjacentes. Recomenda-se a leitura concomitante, do item Classificação, disponível em tópicos conceituais. Aula 6: Processamento de Imagens de Radar – execução de algumas técnicas de tratamento de imagens de radar, tais como correção de ruído *Speckle* com a utilização de filtros. Apesar das dificuldades nesta etapa serem mínimas, recomenda-se a leitura do item Processamento de Imagem de Radar, disponível em tópicos conceituais. Aula 7: Manipulação de Dados Vetoriais – consiste num módulo de extrema importância, quase que essencialmente prático, enfocando procedimentos de edição vetorial (importação de arquivos no formato ASCII) e gráfica de um dado mapa, seguindo as etapas de digitalização, ajustes e poligonalização (todas realizadas em mesa digitalizadora), além da conversão vetor-varredura (Barros 7 Dornelles, 2001).

Atualmente estão sendo efetuadas as avaliações das aulas 8, 9 e 10 do tutorial, versando sobre *Modelagem Numérica, Análise e Consulta Espacial e Geração de Cartas e Impressão*, respectivamente.

4.4 SAGA, SISPLAMTE e SPRING

Dos três programas em estudo o SPRING foi o que apresentou uma resposta mais ágil, em termos de consulta

ao manual, resultado de uma perfeita integração de conteúdos e de acesso facilitado aos tutoriais. Em relação ao SAGA os manuais associados contém informações conceituais básicas sobre cada módulo, além de exemplos de aplicações. No tocante ao SISPLAMTE, a versão *demo* é bastante ilustrativa, propiciando um conhecimento adequado da estrutura do programa não dispondo, ainda, de um tutorial completo associado às principais etapas de implementação.

A utilização dos conversores de importação e exportação VETSURF, RSTTIFF e TIFFRST do SAGA, minimizou a penosa tarefa de captura de dados, via mesa digitalizadora, em desenvolvimento com os programas SISPLAMTE e SPRING, subsidiando novos estudos acerca da capacidade de integração dos citados programas, vinculada à importação de mapas de distribuição espacial gerados com os *softwares* SURFER, e GEOSOFT, entre outros.

A partir da correlação dos dados georreferenciados obtidos, realizada com auxílio do módulo de ANÁLISE AMBIENTAL do SAGA/UFRJ, foram gerados relatórios (assinaturas ambientais) e mapas (avaliações ambientais), os quais subsidiaram o diagnóstico ambiental das áreas em estudo. Em relação ao SISPLAMTE, pretende-se avaliar a *performance* das funções de acesso selecionadas, frente à caracterização oceanográfica da baía de Sepetiba. O Módulo de Geoestatística do SPRING, construído sobre a biblioteca GSLIB (*Geoestatistical Software Library*) e contido no item *Métodos de Estimção de Krigeagem*, está sendo avaliado objetivando-se a geração de mapas de isotores de matéria orgânica, carbonato de cálcio e fração fina em sedimentos da plataforma continental interna adjacente ao Cabo Frio, comparando-se esses resultados com os obtidos através da integração dos programas SAGA e SURFER.

5 Conclusões

A integração SAGA/UFRJ e SURFER, mostrou-se muito eficaz, agilizando o processo de confecção dos mapas, tendo em vista a não utilização das etapas dos módulos MONTAGEM e TRAÇADOR VETORIAL.

As etapas envolvidas neste estudo, bem como os resultados satisfatórios obtidos denotam a importância da utilização do Geoprocessamento em pesquisas ambientais. Aliado a este fato, o SGI SAGA/UFRJ mostrou ser um poderoso instrumento para avaliações de impacto ambiental em regiões costeiras.

Os resultados promissores vinculados ao SISPLAMTE, reforçam sua premissa básica de acesso rápido às informações referenciadas cartograficamente,

sem exigir do usuário conhecimentos especializados em Geoprocessamento.

A elaboração e conteúdos adequados, do roteiro de atividades e do tutorial do SPRING/INPE, favoreceram a execução das tarefas demonstrando que, em linhas gerais, um usuário não deverá apresentar dificuldades quanto ao seu manuseio.

A futura disponibilização dos resultados obtidos, via Internet, contribuirá para o desenvolvimento de atividades de ensino, pesquisa e extensão, associadas à disseminação da cultura do Geoprocessamento.

Referências

- Alerj (1996). *Contaminação ambiental da baía de Sepetiba pela Companhia Mercantil e Industrial Ingá*. Rio de Janeiro: Comissão de Meio Ambiente da Assembléia Legislativa do Estado do Rio de Janeiro, 24p.
- Banco Mundial (1996). *Brasil: gestão da poluição ambiental no Estado do Rio de Janeiro. Divisão de Recursos Naturais, Meio Ambiente e Pobreza Rural, Departamento de Países I, Região da América Latina e Caribe*. Disponível na Internet via <http://www.worldbank.org/la1er/index.htm>.
- Barros, C. de L. M. & Dornelles, Liane M. A. (2001). "SPRING/INPE: performance do tutorial e aplicações nas Geociências", *anais do XI Congresso Latinoamericano de Geologia e III Congresso Uruguaio de Geologia*, no prelo.
- Calache, Suzanna C. (2001) *Teores de manganês, chumbo, níquel e zinco nos sedimentos sub-superficiais da plataforma continental interna adjacente ao Cabo Frio*. Uerj/Ocn/SR-2, 15p.
- Carvalho-Filho, Luis M. (1999). *Manual operacional do Traçador Vetorial*. Rio de Janeiro: LAGEOP, 53p.
- Cristello, Karla de A. (1998). *Utilização do sistema de análise geoambiental (SAGA/UFRJ) da avaliação da distribuição de metais pesados na plataforma continental interna adjacente ao Cabo Frio-RJ, em associação com a matéria orgânica, carbonato de cálcio, partículas finas e grossas*. Uerj/Ocn/SR-2, 48p.
- Cristello, Karla de A. & Dornelles, Liane M. A. (1997). "Utilização do Sistema de Análise Geoambiental (SAGA/UFRJ) na avaliação da distribuição de metais pesados na plataforma continental de Cabo Frio, RJ - Brasil", *atas do VI Simpósio de Geologia do Sudeste*, 321--322.
- Dias, Anna E. S. (2001). *Teores de cádmio, cobre, cromo e ferro nos sedimentos sub-superficiais da plataforma continental interna adjacente ao Cabo Frio*. Uerj/Ocn/SR-2, 17 p.
- Dornelles, Liane M. A. (1993). *Metais pesados nos sedimentos da plataforma continental entre Ilha Grande e Cabo Frio (RJ) e suas associações com a granulometria, conteúdo de carbonato de cálcio e matéria orgânica*. Dissertação de Mestrado em Geociências, 155p
- Dornelles, Liane M. A. (1998). "Spatial distribution of heavy metals in the bottom sediments and suspended material: Sepetiba bay - RJ - Brazil", *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 70 (2), 291--302.
- Dornelles, Liane M. A. (1999). "Análise comparativa entre mapas de risco de poluição por metais pesados em sedimentos da Baía de Sepetiba, RJ - Brasil gerados com uso do SGI SAGA/UFRJ", *anais do V Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa e VII Congresso Brasileiro de Geoquímica*, 88--90.
- Dornelles, Liane M. A. (2000^a). "Uso de geoprocessamento no diagnóstico ambiental de ambientes costeiros - estudo de caso: baía de Sepetiba, RJ - Brasil", *anais do VI Congresso Brasileiro de Defesa do Meio Ambiente*, 20p.
- Dornelles, Liane M. A. (2000^b). *Uso integrado do SGI SAGA/UFRJ e SURFER for Windows*, Monografia de Especialização em Geoprocessamento, 114p.
- Dornelles, Liane M. A. (2000^c). *Monitoramento de metais pesados na baía de Sepetiba - RJ - Brasil, com base em geoprocessamento*, Doutorado em Ciências, 2 v, 557p.
- Dornelles, Liane M. A. (2001^a). "Uso integrado do SGI SAGA/UFRJ e SURFER for Windows", *anais do GIS BRASIL 2001*, 8p.
- Dornelles, Liane M. A. (2001^b). "Uso do sistema de análise geoambiental - SAGA no monitoramento de cádmio e zinco: baía de Sepetiba, RJ - Brasil", *anais do VI Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa e III Semana de Geoquímica*, 266--269.
- Dornelles, Liane M. A. (2001^c). "Monitoramento de metais pesados na baía de Sepetiba - RJ - Brasil, com base em geoprocessamento", *resumos do VIII Congresso Brasileiro de Geoquímica e I simpósio de Geoquímica dos Países do Mercosul*, no prelo.
- Dornelles, Liane M. A., Calache, Suzanna C. & Dias, Anna E. S. (2001). "Distribuição granulométrica e de metais pesados em testemunhos da plataforma continental interna adjacente ao Cabo Frio, RJ, Brasil", *resumos do VIII Congresso Brasileiro de Geoquímica e I simpósio de Geoquímica dos Países do Mercosul*, no prelo.

- Dornelles, Liane M. A. et al. (1998^a). "Utilização do sistema de análise geo-ambiental (SAGA/UFRJ) na avaliação do impacto ambiental por metais pesados na baía de Sepetiba e plataforma continental interna de Cabo Frio - RJ, Brasil", *anais do GIS BRASIL* 98, 40 p.
- Dornelles, Liane M. A. & Damazio-da-Silva, J. (1999). "Uso de sistema geográfico de informação na caracterização mineralógica de sedimentos da plataforma continental interna de Cabo Frio - RJ, Brasil", *anais do GIS BRASIL* 99, 15 p.
- Dornelles, Liane M. A. & Damazio-da-Silva, J. (2000). "Uso de SGI en la caracterización de sedimentos de la plataforma continental de Cabo Frio - Rio de Janeiro, RJ - Brasil", resúmenes do II Congreso Latinoamericano de Sedimentología e VII Reunión Argentina de Sedimentología, 71--72.
- Dornelles, Liane M. A. & Küsel, Elizabeth T. (1997). "Cobertura Sedimentar da Plataforma Continental entre as Ilhas do Cabo e dos Papagaios, RJ - Brasil", *anais do VII Congresso Latino-Americano sobre Ciências do Mar*, 257-258.
- Dornelles, Liane M. A. et al. (1998^b). "Heavy Metals in the Bottom Sediments of the Continental Shelf near to Cabo Frio, RJ-Brazil and its Association with the Organic Matter, Calcium Carbonate and Fine Particles", *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 70 (2), 303--312.
- Dornelles, Liane M. A. & Mendonça, Bárbara S. (2001). "Banco de dados sobre metais pesados: baía de Sepetiba, RJ, Brasil", *resumos do VIII Congresso Brasileiro de Geoquímica e I simpósio de Geoquímica dos Países do Mercosul*, no prelo.
- Folk R. & Ward, W. C. (1957). "Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters", *J. Sedimentary Petrology* 27 (1957), 3--26.
- Förstner, U. & Wittmann, G. T. (1979). *Metal pollution in the aquatic environment*, Ed. Springer - Verlag.
- Mendonça, Bárbara S. (2001). *Banco de dados de metais pesados: baía de Sepetiba, RJ-Brasil*, Uerj/Ocn/SR-2, 11p.
- Oliveira, Osmar M. (1999). *Manual do SAGA - BDC, LAGEOP*, 12 p.
- Saavedra, Luiz. (1994). *Dinâmica sedimentar na plataforma continental interna entre a ilha do Cabo frio e cabo Búzios - RJ*, Dissertação de Mestrado em Ciências, 125p.
- Sisplante (2000). *Sistema de Apoio ao Planejamento e Monitoramento Territorial: Manual de Utilização do Software versão 2.5*, 52p.
- Spring (1999). *Sistema de ajuda on-line do SPRING*. Disponível via <http://www.dpi.inpe.br/spring>.
- Xavier-da-Silva, Jorge et al. (1996). *Geomorfologia e Geoprocessamento*, orgs. Cunha, S. B. da & Guerra, A. J. T., Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações, Ed. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro.