

DADOS TM APLICADOS A MODELAGEM DA PLUMA SEDIMENTAR NA COSTA DO CACAU, ILHÉUS-BAHIA, BRASIL

Cezar Augusto Teixeira Falcão Filho
Doutorando em Geologia UFBA
cezarfalcaof@gmail.com

Gil Marcelo Reuss Strenzel
Prof. Dr. UESC
gmreuss@gmail.com

Francisco Carlos Fernandes de Paula
Prof. Dr. UESC
depaula@uesc.br

Recebido em: 22/07/2015; Aceito para publicação em: 14/04/2016

RESUMO

Um modelo empírico foi calibrado para mapear as plumas sedimentares da zona costeira localizada na região conhecida como "Costa do Cacau", no sul da Bahia, na cidade de Ilhéus. O modelo foi desenvolvido por regressão linear entre os valores de TSS (Total de Sólidos em Suspensão) coletados em oito pontos *in situ*, em águas do caso 2 e os dados físicos de reflectância centralizados no comprimento de onda específico da banda λ_3 (0,63 - 0,69 μm) do sensor *Thematic Mapper* (TM) a bordo do satélite Landsat 5, reunidos pelo método gravimétrico e técnicas de sensoriamento remoto aplicados à cor do oceano, respectivamente. O R^2 (0,75) mostrou uma relação positiva e significativa entre as duas variáveis. A análise de resíduos mostrou uma baixa variação de valores de TSS gerados pelo modelo nos pontos 1, 2, 3 e 8. Os valores de TSS seguiram a tendência prevista para a distribuição da concentração de material particulado na plataforma continental. Concluímos que o mapeamento do TSS, pela da construção de um modelo empírico, é uma opção viável do ponto de vista prático.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto; Cor do Oceano; Mapeamento; TSS.

TM DATA APPLIED TO MODELING OF SEDIMENT PLUME IN COCOA COAST, ILHÉUS-BAHIA, BRAZIL

ABSTRACT

An empirical model was calibrated to map sediment plums of the coastal zone located in the region known as "Cocoa Coast", in the south of Bahia, in the city of Ilhéus. The Model was developed by linear regression between the values of TSS (Total Suspended Solids) collected in 8 points *in situ* in Case 2 waters, and the physical reflectance data centralized in specific wavelength of band λ_3 (0,63 - 0,69 μm) of the *Thematic Mapper* sensor (TM) aboard Landsat 5 satellite, gathered by the gravimetric method and remote sensing techniques applied to the Ocean Color, respectively. The R^2 (0.75) showed a positive and significant relationship between the two variables. The Residues analysis showed a low variation of TSS values generated by the model in points 1, 2, 3 e 8. TSS values followed the expected trend for the distribution of the concentration of particulate matter in the continental shelf. We conclude that the mapping of the TSS, by building an empirical model is a viable option from a practical point of view.

Keywords: Remote Sensing; Ocean Color; Mapping; TSS.

INTRODUÇÃO

A plataforma continental e as águas costeiras representam apenas 5% da área total da superfície terrestre, porém 2/3 da população mundial vive nessa região ou em suas proximidades (INMAN e BRUSH, 1973). A diversidade de habitats e organismos é grande, além de disponibilizar recursos para o suprimento de diversas atividades humanas, como transporte, pesca e turismo.

A cada ano 20 bilhões de toneladas de sedimentos são lançadas nos oceanos pelos rios (MILLIMAN e SYVITSKI, 1992). Grandes quantidades de material são transportados para as zonas costeiras. Esse material é denominado na literatura de TMS (Total de Matéria Suspensa), sendo também denominada de MPS (Material Particulado Suspenso) ou ainda de TSS (Total de Sólidos em Suspensão). O parâmetro TSS pode ser definido como o conjunto de partículas inorgânicas (sedimento) e de elementos biogênicos (matéria orgânica dissolvida e particulada) em suspensão na água. Essas partículas possuem a capacidade de inibir ou enriquecer os ecossistemas costeiros, fixar ou adsorver poluentes de metal, produtos químicos ou de origem orgânica causando eutrofização e degradação de habitats marinhos biologicamente produtivos (FABRICIUS, 2005; OUIILLON et al., 2008). Entre outras consequências estão a elevação da turbidez, da sedimentação e a diminuição de oxigênio dissolvido na água.

As partículas mais grosseiras, principalmente areia, constituem a principal fonte de material das praias. Mas as areias que formam as praias são facilmente transportadas e sua morfodinâmica costeira resulta do balanço entre as entradas terrestres e transporte de sedimentos ao longo da costa. Estudar a composição dos sedimentos, seu transporte e destino em zonas costeiras são, portanto, necessário, tanto do ponto de vista biológico (para a saúde dos ecossistemas) quanto para as atividades humanas (problemas de engenharia civil, gestão costeira, turismo, entre outros) (KOMAR, 1976; TASSAN, 1998; OUIILLON et al., 2008).

Dessa forma o “*INCT – TMC Ocean*” (Instituto Nacional de Ciências e Tecnologia de Transferência de materiais Continente Oceano) juntou esforços de diversas instituições de pesquisa do Brasil para quantificar o transporte, transformações e destino de sedimentos, além de nutrientes, matéria orgânica e metais-traço, do continente para o mar na costa Leste-Nordeste brasileira e sua interação com as cadeias produtivas locais e processos naturais.

Para um melhor entendimento desses processos o sensoriamento remoto traz ferramentas eficientes para monitorar o transporte de sedimentos, sua distribuição espacial, tanto em águas fluviais quanto costeiras e até mesmo quantificar o aporte (OUIILLON et al., 2008). Os dados obtidos por sensoriamento remoto permitem a aquisição de informações sinópticas sobre grandes superfícies, tanto oceânicas quanto terrestres, com baixo custo, de modo a fornecer uma visão do sistema aquático integrado a sua bacia de drenagem (LIU, 2007). Para quantificar a concentração de sedimento e caracterizar sua variabilidade em escala regional é preciso medições frequentes, bem distribuídas e com grande cobertura espacial. Este tipo de amostragem torna-se praticamente impossível de ser conduzida somente por métodos tradicionais, principalmente em grandes regiões (LIU, 2007). Por outro lado, os dados de sensoriamento remoto podem ser adquiridos em diferentes épocas do ano, permitindo não somente uma análise espacial integrada, mas também análises de transformações temporais como resultados de mudanças nas funções de força hidrológicas, climáticas e antrópicas. Dessa forma o objetivo do presente trabalho foi estimar a concentração do TSS na plataforma continental interna do Sul da Bahia a partir de dados TM.

BASES FÍSICAS E BIOLÓGICAS DA COR DO OCEANO

As descargas dos rios nos oceanos influenciam as características geomorfológicas (erosão e deposição), físicas (temperatura e propriedades ópticas), químicas (aporte de nutrientes) e biológicas (produtividade primária) das regiões costeiras adjacentes (DAGG et al., 2004; GEYER et al., 2004). Dessas quatro características as três últimas influenciam a cor do oceano.

A cor do oceano está diretamente ligada às suas propriedades ópticas inerentes (absorção e espalhamento). Estas propriedades variam conforme a concentração, natureza e tipos de materiais dissolvidos e particulados presentes na água (MOLLER et al., 2008). Estes materiais, denominados de Componentes Ópticamente Ativos (COA) influenciam as propriedades ópticas dos corpos hídricos (KIRK, 1983). Estes tipos de materiais compõem uma mistura complexa, tanto com a água continental quanto com a marinha. A interação entre a luz solar e a água depende, de maneira específica, das proporções em que estes materiais estão presentes na mistura. A presença dos COA na coluna d'água é responsável pelas modificações em sua cor, pois estes absorvem ou espalham seletivamente a luz incidente. Isto torna a cor do oceano uma fonte de informações referentes às suas propriedades químicas, físicas e biológicas. (KAMPEL et al., 2005).

Ainda conforme Kampel et al. (2005), as propriedades ópticas da água marinha e costeira são influenciadas por várias substâncias, porém três componentes podem ser considerados como principais. São eles:

a. Fitoplâncton: inclui outros organismos microscópicos além do fitoplâncton, porém é denominado assim por ser esse o componente de maior influência sobre as propriedades ópticas.

b. Material em suspensão (inorgânico): mesmo reconhecendo que os organismos microscópicos também se encontram em suspensão, este termo é usado para representar somente o material de natureza sedimentar, já que muitas vezes estas partículas apresentam um índice de refração maior que as partículas orgânicas e, portanto, dominam o sinal retro espalhado pelo conjunto de partículas em suspensão.

c. Substâncias amarelas: são as substâncias orgânicas dissolvidas. Neste componente também é considerado o material particulado detrítico orgânico, que geralmente apresenta propriedades de absorção similares às substâncias amarelas.

Para Lorenzetti e Kampel (2007), o azul escuro das águas oligotróficas em oceano aberto, é resultante da absorção seletiva da água pura, com baixa concentração ou ausência de COA. Em razão do espalhamento específico, apenas uma pequena fração da energia incidente sobre a água é refletida de volta à superfície, resultando em níveis reduzidos de reflectância no sensor (KAMPEL et al., 2005). Já na plataforma continental interna, existe uma maior entrada de nutrientes e material particulado no sistema marinho. Isso proporciona o aumento natural das concentrações de fitoplâncton e a conseqüente mudança da cor azul para a verde (LORENZZETTI et al., 2007). Estas águas costeiras possuem suas propriedades ópticas influenciadas pelo fitoplâncton (e todo material biológico covariante), sendo consideradas águas do Caso 1.

Mais próximo à foz de rios e ao longo da linha de costa existe o aumento da concentração de sedimento ou material particulado, dissolvido e em suspensão. Conforme Tassan (1997), em águas dominadas pela presença de sedimento suspenso, a contribuição de clorofila e matéria orgânica dissolvida para reflectância total pode ser negligenciada. Essa concentração muda a cor do oceano para amarelo-marrom, chegando a ser avermelhada em certos casos. Tal resposta espectral, ao ser registrado por sensores orbitais, pode ser quantificada e processada por medidas da distribuição espectral da radiação refletida, aliadas à aplicação de modelos numéricos.

Águas ricas em sedimento suspenso são consideradas águas do Caso 2 (MOREL et al., 1977; GORDON et al., 1983; TASSAN, 1998). Elas carregam partículas inorgânicas em suspensão e substâncias amarelas. Em zonas estuarinas e na região costeira adjacente os sedimentos são re-suspensos do fundo. Muitas vezes a qualidade dessas águas é afetada por poluentes industriais transportados pelos rios (TASSAN, 1997).

Em águas rasas e claras, uma parte significativa da luz solar incidente pode ser refletida pelo o fundo. Em águas com pouca concentração de COA (águas oceânicas de cor azul) a penetração da radiação eletromagnética na banda λ_1 pode chegar a 30m, na banda λ_2 (verde) até 15m e na banda λ_3 até 5m (GREEN et al., 2000). Parte dos fótons refletidos pelo fundo pode encontrar seu caminho para o sensor remoto causando uma super estimativa da turbidez

(KAMPEL et al., 2005). Porém, em águas do Caso 2, o efeito de reflexão do fundo é reduzido e pode ser negligenciado (TASSAN, 1998).

ESTIMANDO A CONCENTRAÇÃO DO TSS

Existem diversas formas de expressar a relação do TSS com $R(\lambda)$, mas as duas mais utilizadas segundo (CHEN et al., 1991) foram uma forma linear simples e a outra, uma forma linear logarítmica. Estas relações descrevem como a luz deixa a água a partir de um único, ou um número maior de comprimentos de onda em termos de concentração de TSS na parte superficial da coluna d'água (HINTON, 1991). A escolha de uma dessas formas para representar a entrada de dados pode ser decidida empiricamente usando a localização da reflectância assintótica relacionada ao respectivo valor de TSS.

A estimativa da concentração de TSS depende da sua correlação com a reflectância da água em uma determinada banda espectral i (λ_i). Segundo Tassan (1997), a penetração de fótons ao longo da coluna d'água decresce com o aumento do coeficiente de absorção (k). Esse coeficiente, apesar de ser proporcional à TSS em todos os comprimentos de onda, é específico para cada banda espectral. Em águas costeiras com TSS elevado, a reflectância espectral máxima se dará em comprimentos de onda mais longos, ao contrário das águas oligotróficas. Dessa maneira a transição espectral em águas do Caso 2 será na região do vermelho, pois a cor depende da reflectância da radiação pelo sedimento, que aumenta rapidamente com o aumento do comprimento de onda na faixa do visível (CHEN et al., 1991).

Uma forma de estimar a concentração de TSS através de dados TM é aplicando uma expressão log-log (Equação 1).

$$\ln(\text{TSS}) = a + b[\ln(\lambda_i + 1)] \quad \text{Equação 1}$$

Onde TSS é a concentração de material particulado suspenso (mg/l); a (intercepto em y) e b (coeficiente angular) são constantes numéricas e λ é o comprimento de onda centralizado específico da banda do sensor TM (TASSAN 1997).

Quando as plumas sedimentares estão estratificadas sobre a água do mar limpa, a concentração estimada pelo algoritmo que opera na banda λ_3 é mais eficaz por causa da menor penetração da radiação na coluna d'água (até 5 metros) nesse comprimento de onda, entre 0,63 - 0,69 μm (TASSAN, 1997).

CONSIDERAÇÕES SOBRE A ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado na zona costeira que abrange os municípios de Ilhéus, Uruçuca e Itacaré, localizados entre as latitudes de $14^\circ 48' 00''$ e $14^\circ 12' 00''$ e longitudes $39^\circ 06' 00''$ e $38^\circ 48' 00''$. Esses municípios encontram-se na região Sul da Bahia, conhecida também como Costa do Cacau (Figura 1).

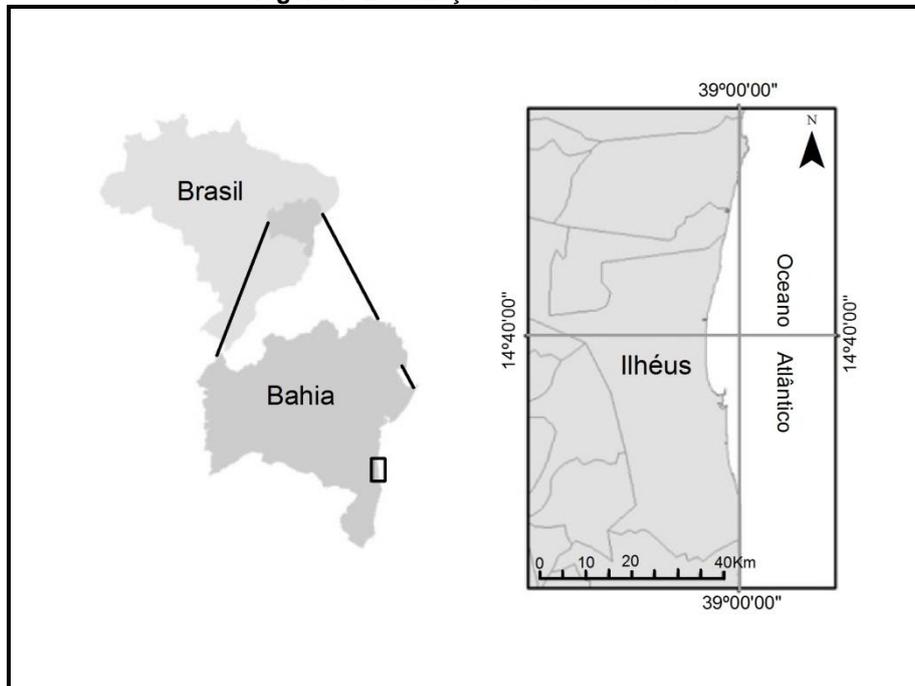
A zona costeira dessa região possui forte ligação com a história das variações holocênicas do nível do mar ao longo da costa leste do Brasil. Essa variação é caracterizada por um nível do mar cerca de 5 m mais alto que o atual, por volta de 5,1 ka antes do presente (MARTIN et al., 1980, SUGUIO et al., 1980). Este decréscimo do nível do mar é responsável pela atual geomorfologia e geografia da planície costeira. A redução do nível do mar desde aquela época não foi regular, mas interrompido por oscilações de 2 a 3 m atuando em escala de tempo de 200 a 300 anos (Figura 2) (DOMINGUEZ et al., 1981).

Consequentemente, o principal fator a controlar os processos sedimentares na zona costeira foram as variações do nível relativo do mar. Por ocasião dos eventos regressivos grandes quantidades de areia foram expostas na plataforma continental, constituindo-se na principal fonte de sedimentos a alimentar sua progradação (DOMINGUEZ et al., 1981). Durante esse período os sedimentos de origem continental foram depositados diretamente na plataforma continental ou no corpo do estuário, formando depósitos sedimentares modernos.

A dinâmica em macro e meso-escala é profundamente influenciada pela divergência da Corrente Sul Equatorial e sua variabilidade sazonal na Plataforma Continental Leste. A

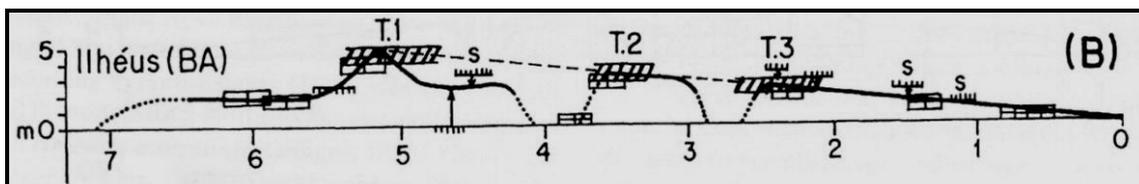
Corrente Sul Equatorial é ampla e flui para Oeste, conectando o Oceano Atlântico tropical e sub tropical. Quando alcança a margem continental brasileira, a corrente diverge e forma duas novas correntes em torno de 10° S: a Corrente Norte do Brasil (*NBC – North Brazil Current*) (SILVEIRA et al., 1994) que flui em direção Norte; a Corrente do Brasil (*BC – Brazil Current*), cujo fluxo acompanha plataforma continental brasileira em direção Sul (PETERSON e STRAMMA, 1991).

Figura 1: Localização da zona costeira.



Fonte: FALCAO FILHO et al. (2016).

Figura 2: Curva de variação do nível relativo do mar em Ilhéus-BA nos últimos 7.000 (anos B. P. $\times 10^3$)

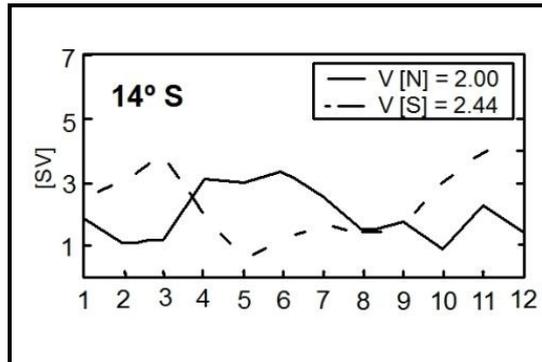


Fonte: Dominguez (et al., 1981).

Segundo Rodrigues et al. (2007), a latitude da bifurcação varia com a profundidade, sendo entre $\pm 10^\circ$ S e $\pm 14^\circ$ S próximo a superfície até $\pm 27^\circ$ S próximo aos 1000m de profundidade. A Margem Leste da plataforma é localizada nesta zona de divergência, tornando-se sujeita a variabilidade na dinâmica de macro e meso-escala, já que as reduzidas dimensões da plataforma a tornam adjacente ao oceano aberto. Em menor escala, existe uma variação sazonal do transporte na Plataforma Leste, em torno de 14° de latitude (REZENDE, 2010). O ciclo de transporte ao longo do ano apresenta um caráter diferente da superfície para a camada de sub-superfície. Na camada superficial, um sinal bimodal sazonal sugere uma alternância do domínio da circulação, com a Sub-Corrente Norte do Brasil (NBUC – *North Brazil Under Current*) fluindo para norte e dominando nos meses de abril a setembro e a Corrente do Brasil (BC) dominando o transporte de outubro a março (REZENDE, 2010) (Figura 3). Por isso, períodos de transporte médio e máximo da BC estão associados ao transporte mínimo de NBUC. Na camada de sub-superfície a NBUC, possui a média máxima ocorrendo em julho. Nessa camada, o transporte para o sul mostra uma tendência de aumento em dezembro e um segundo pico em março, de acordo com o comportamento da camada superior (REZENDE, 2010) (Figura 3).

Em regiões mais próximas ao continente, os processos costeiros são dominados pelo clima (vento e precipitação) associados a processos oceanográficos (ondas e correntes costeiras) que são controlados por 2 componentes de maior escala: as frentes frias e a zona de convergência intertropical. As frentes frias resultam do deslocamento das massas polares de ar ativas principalmente durante o inverno. Esse deslocamento ocorre durante o inverno onde ela alcança latitudes de 10° S. Durante o verão estas frentes são geralmente fracas e raramente cruzam o trópico (DOMINGUEZ, 2009).

Figura 3: Estimativa do ciclo anual do transporte médio na camada superficial (0 – 100m). A média do transporte anual para cada direção é indicado nas caixas. 1Sv = 106m³s⁻¹. Os números de 1 a 12 indicam respectivamente os meses de janeiro a dezembro.



Fonte: Rezende (2010).

Os ventos são constantes durante todo o ano e variam de direção conforme a estação. Durante o inverno a direção predominante do vento é sudeste e algumas vezes leste. No verão a direção muda para nordeste. As chuvas são bem distribuídas durante todo o ano e o clima das ondas é controlado principalmente pela circulação atmosférica (DOMINGUEZ, 2009). A variação ao longo do ano ocorre por causa da migração da Zona de Divergência dos Ventos Alísios. No verão essa migração desloca-se para o Equador, posicionando-se a cerca de 13° S. Consequentemente chegam até a região ventos alísios de nordeste (NE) que geram ondas de NE. No inverno essa Zona de Divergência se move para Sul, próximo a 20° S. Neste período, chegam à costa os ventos alísios de sudeste (SE) (DOMINGUEZ, 2009).

As ondas podem ser formadas a partir dos ventos ou das frentes frias. Por causa desses dois mecanismos de formação de ondas, esta região costeira está sujeita a dois sistemas de ondas: leste-nordeste e sul-sudeste, tendo implicações importantes na dispersão de sedimentos (MARTIN et al., 1998). O sistema de ondas sul-sudeste possui sua formação atrelada às frentes frias e são caracterizadas como ondas de *swell*. No inverno estas ondas são mais constantes e provocam um aumento significativo do volume de sedimento suspenso. Nesse período os sedimentos são transportados ao longo da região costeira no sentido sul-norte pela deriva litorânea. Este sistema de correntes induzido por ondas do sistema sul-sudeste, possui significativa importância na deriva litorânea e podem introduzir quantidades significativas de sedimentos nas planícies costeiras aqui consideradas (MARTIN et al., 1983). No verão são formadas ondas de baixa energia pelo sistema leste-nordeste relacionadas ao vento nordeste predominante nesse período. A deriva litorânea muda para o sentido norte-sul.

As áreas de deposição de material transportado pela deriva litorânea, parece se originar de erosão costeira dos depósitos da Formação Barreiras (DOMINGUEZ e BITTENCOURT, 1996). As águas da costa leste estão propensas a significativa re-suspensão, subsequente advecção, e deposição de materiais em áreas mais profundas e na costa, devido à energia das ondas, aos efeitos de maré e correntes costeiras relativamente fortes (DOMINGUEZ e BITTENCOURT, 1996).

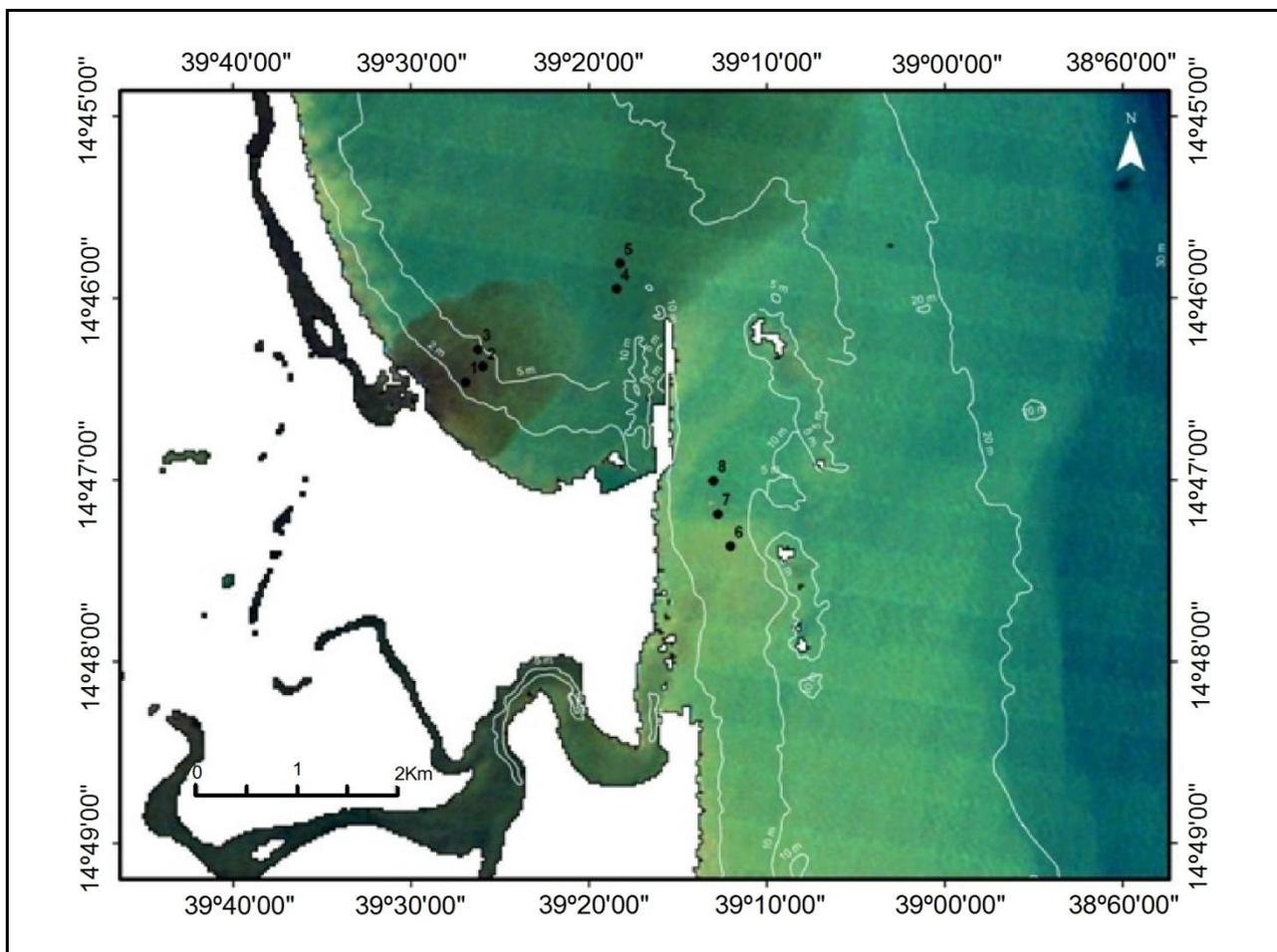
MATERIAIS E MÉTODOS

CAMPANHAS OCEANOGRÁFICAS

A data da coleta de água para obtenção dos dados de TSS *in situ* foi definida utilizando-se inicialmente o calendário da órbita 215 com as previsões de passagem do satélite Landsat 5. Outro critério utilizado foi a previsão de cobertura de nuvens para o dia da passagem do satélite, efetuada pelo CEPTEC-INPE (2009). Os modelos utilizados foram:

- Modelo global T126L28 – Ilhéus;
- Modelo global Acoplado T126L28 – Ilhéus;
- Modelo global T213L42 – Ilhéus e Itacaré;
- Modelo global T299L64 – Ilhéus e Itacaré.

Figura 4: Imagem Landsat 5 do dia 25/08/2009, destacando as cores do oceano na zona costeira, com composição colorida *RGB true color* (bandas TM λ_3 , λ_2 e λ_1), projetada e com a porção terrestre mascarada. Os pontos amostrais e sua respectiva ordem de coleta estão em preto. Profundidade representada pelas linhas batimétricas em cinza claro.



Fonte: FALCÃO FILHO et al. (2016).

De cinco campanhas, apenas uma foi realizada com sucesso para a coleta de água simultaneamente no dia 25 de agosto de 2009, quando houve a passagem do Landsat 5, pela órbita 215 às 9:26:42h no horário local, sem interferência de nuvens.

COLETA DE ÁGUA

Durante a campanha, foi coletado um total de oito amostras de água superficial (Figura 4). Nesse dia a baixa mar ocorreu às 00:00h (0,07 m) e às 12:30h (0,32 m), enquanto a preamar foi às 06:20 h (1,75 m) e às 18:40 h (1,59 m), caracterizando uma maré de quadratura.

Foram coletadas três amostras na zona costeira adjacente ao Rio Almada e duas amostras próximas ao porto (Figura 4). E por último foram coletadas mais três amostras na zona costeira influenciada pela descarga do Rio Cachoeira (Figura 4), cada amostra continha 1.500 ml.

Utilizou-se uma garrafa de *Van Dorn* para coletar as amostras superficiais de água do mar e um receptor de GPS de navegação para demarcar as coordenadas dos pontos amostrais. O objetivo foi elaborar um banco de dados georreferenciados, de modo a localizar os pontos amostrais sobre a imagem e possibilitar a realização da regressão entre os dados coletados *in situ* e a reflectância da imagem.

DETERMINAÇÃO DO TSS

Os valores do TSS foram determinados pelo Método gravimétrico. As amostras foram filtradas em filtros *Macherey-Nagel (Rundfilter)* de 47 mm, com porosidade 1,2 μm e capacidade de retenção de partículas de diâmetro superior a 0,6 μm . Os filtros foram previamente calcinados a 450 °C por 4 horas e mantidos em dessecador até o momento de pesagem prévia. Após filtragem de todo o conteúdo os filtros foram secos em estufa a 60°C por 1 hora e novamente pesados em uma balança analítica. Com a diferença do peso final e do peso prévio dos filtros foram obtidos os valores de TSS.

SENSORIAMENTO REMOTO

Todo processamento digital das imagens foi realizado no *software Idrisi Andes*[®] (Eastman, 2006), exceto a correção atmosférica, que foi processada no *software Erdas Imagine 9.1*[®] no módulo *ATCOR* (Richer, 2008). As etapas executadas são explicadas à seguir:

a. Aquisição e Seleção da Imagem

A imagem TM empregada na construção do modelo foi adquirida gratuitamente através da página de Divisão de Geração de Imagens do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) (INPE, 2009).

b. Processamento e Correção Atmosférica

As contribuições atmosféricas foram corrigidas, pois na faixa do visível, grande parte da radiação coletada pelo satélite sobre cenas oceânicas é luz espalhada na atmosfera (Lorenzetti et al., 2007). A correção radiométrica envolveu três passos:

- Conversão dos valores digitais para radiância espectral no sensor (calibração do sensor);
- Conversão da radiância espectral para reflectância aparente
- Remoção dos efeitos da atmosfera devido à absorção e dispersão da luz (correção atmosférica).

As três etapas do processo foram realizadas automaticamente através do módulo *ATCOR* do *software Erdas Imagine 9.1*[®] a partir de dados referentes ao sensor e às condições atmosféricas no momento da aquisição da imagem.

c. Correção Geométrica das Imagens

O georreferenciamento da imagem foi efetuado de forma interativa através de pontos conhecidos ou pontos de controle obtidos em uma base cartográfica e na imagem. A relação entre os dois sistemas de coordenadas (mapa e imagem) foi calculada por equações polinomiais através do módulo *Resample* do *Software Idrisi 15.0*.

d. Criação de uma Máscara Booleana

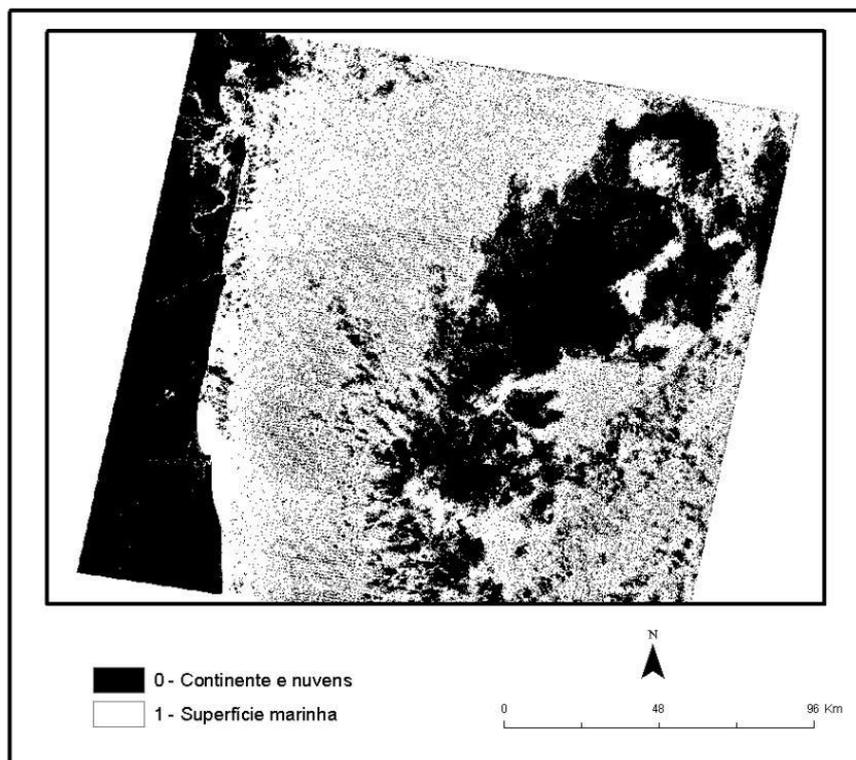
Os dados de reflectância da superfície marinha foram isolados do continente por meio de uma máscara booleana. Segundo Reuss-Strenzel (2004), os níveis de reflectância sobre o mar são muito inferiores aos níveis de reflectância sobre a terra, apresentando um padrão de reflectância bi-modal. Este padrão prejudica a visualização clara da água do mar e do continente ao mesmo tempo. Para minimizar este efeito optou-se pela eliminação do continente, atribuindo a esse um valor igual a zero.

A máscara foi elaborada através do coeficiente normalizado entre as bandas TM λ_2 e λ_4 . O coeficiente foi proposto por McFeeters (1996) que o denominou de *Normalized Difference Water Index (NDWI)* (Equação 2). Seu resultado é uma imagem cujos *pixels* oscilam entre -1 a 1 (-1 a 0 para a terra e de 0 a 1 para a água). Isso permite que a imagem seja reclassificada gerando uma nova imagem na qual os valores negativos são transformados em 0 e valores positivos em 1.

$$NDWI = (\lambda_2 - \lambda_4) / (\lambda_2 + \lambda_4) \quad \text{Equação 2}$$

Onde λ_2 e λ_4 representam as bandas 2 e 4 do sensor TM.

Figura 5: Máscara booleana para continente e nuvem.



Fonte: FALCÃO FILHO et al. (2016).

As nuvens também provocam um padrão de reflectância bi-modal. Para a eliminação do sinal emitido pelas nuvens utilizou-se a banda λ_4 (0,78 – 0,90 μ m). Nesse comprimento de onda os valores de reflectância são baixos, pois absorvem muita energia tornando os corpos d'água escuros. Com isso o contraste entre a superfície marinha e as nuvens torna-se alto.

A banda λ_4 da imagem foi multiplicada pela máscara booleana e em seguida foi reclassificada com valor 1 para a reflectância da água, que nesta imagem variou de 0 a 6%, e 0 para a reflectância das nuvens que variou de 6,25 a 63,75%. O resultado é uma nova máscara booleana, com valor 0 para as nuvens e 1 para a superfície marinha e continente. A partir da multiplicação entre as duas máscaras (continente e nuvem), foi elaborada uma única máscara, apenas com a informação espectral da superfície marinha (Figura 5).

e. Escolha do Comprimento de Onda λ

Alguns parâmetros definiram a escolha da banda $\lambda 3$ para elaboração do modelo, segundo o método de calibração direta (Acker et al., 2005). A banda $\lambda 3$ é sensível à reflectância na região do espectro eletromagnético compreendido entre 0,63 - 0,69 μ m. Este intervalo capta a luz refletida por pigmentos vermelhos, característicos das partículas inorgânicas em suspensão típicas de águas do Caso 2 (Nichol, 1993). Além de apresentar uma menor penetração na coluna d'água, até 5m (Green et al., 2000) em águas com pouca concentração de COA.

f. Elaboração de um SIG

Um SIG foi elaborado incluindo a banda $\lambda 3$ (reflectância), e os pontos com os respectivos valores de TSS. Isso possibilitou a visualização dos pontos de coleta, seus valores de TSS e sua relação espacial com a reflectância marinha na banda $\lambda 3$ (Tabela 1). O ponto mais extremo (ponto 9) foi adicionado ao SIG por representar uma água tipicamente marinha e limpa, com baixa concentração de COA. Esse valor, segundo Tassan (1997), é necessário para calibração do modelo e um melhor ajuste da reta da regressão. O valor de TSS típico dessa água foi adquirido a partir de dados pretéritos do Laboratório de Oceanografia Química da Universidade Estadual de Santa Cruz, sendo igual a 0.025 mg/l. O ponto 9 está localizado em uma água tipicamente oceânica com baixa concentração de COA.

g. Regressão entre Reflectância e TSS

Para extrair os dados de reflectância da banda $\lambda 3$ coincidentes com os pontos amostrais, foram criados polígonos com a dimensão de 6x6 pixels, através da rotina *buffer*, de maneira a estabelecer um valor médio de reflectância para o local, minimizando distorções causadas pelo ruído na imagem. O resultado é um arquivo vetorial cobrindo uma área de 8.100 m² da superfície marinha para cada ponto.

Uma imagem com valores constantes foi utilizada para copiar os valores de reflectância da banda $\lambda 3$. O arquivo vetorial com a localização dos pontos amostrais foi convertido para o formato matricial utilizando a imagem de valores constantes. Com isso a imagem inicializada adquiriu apenas os valores de reflectância com a mesma localização dos pontos amostrais. Os dados isolados foram transformados em um arquivo de valores (AVL - *Attribute Values*) contendo os dados de reflectância apenas dos pontos coletados *in situ*.

Os dados de TSS coletados *in situ* também foram convertidos para o formato AVL. Com os dados de reflectância e TSS no formato de texto, aplicou-se o logaritmo natural a ambos e em seguida foi feita a regressão linear por meio do módulo *REGRESS*. O logaritmo natural da reflectância foi definido como variável independente e o logaritmo natural de TSS como variável dependente.

h. Análise de Resíduos

A eficácia do modelo foi avaliada usando a análise dos resíduos. De acordo com os pressupostos da regressão, os resíduos devem distribuir-se aleatoriamente em torno de zero, tanto no modelo global como em relação a cada variável. Foi empregada a Equação 3 para calcular os resíduos em cada ponto (MATOS, 1995).

$$r = y - \hat{y} \quad \text{Equação 3}$$

Resíduos representam a diferença entre o valor observado de y (no caso o parâmetro TSS) e o que foi predito pelo modelo de regressão (MATOS, 1995). Sendo assim y corresponde aos valores reais de TSS e \hat{y} corresponde aos valores gerados pela regressão. Em seguida foi criado um gráfico com os resíduos no eixo vertical (y) e os valores esperados de y (\hat{y}) no eixo horizontal (x).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

RELAÇÃO ENTRE TSS E COA

Os valores de TSS variaram conforme a concentração dos COA (KIRK, 1983) (Tabela 1). Os resultados evidenciam duas plumas com características ópticas bastante distintas, porém ambas estão incluídas em águas do Caso 2 (MOREL et al., 1977; GORDON et al., 1983; TASSAN, 1998).

Tabela 1: Valores de TSS e respectivos valores de Reflectância em números absolutos e em logaritmo natural para cada ponto amostral e sua respectiva hora de coleta.

Pontos	TSS (Mg/L)	Ln (TSS)	Reflectância (%)	Ln Reflectância	Hora
01	33	3,49	1,78	1,02	08:40
02	32	3,47	2,03	1,1	09:00
03	38,7	3,65	1,96	1,08	09:08
04	42,5	3,75	0,99	0,68	09:25
05	41,8	3,73	1,14	0,76	09:33
06	33,7	3,51	4	1,61	10:55
07	29,7	3,39	2,7	1,3	11:02
08	32,8	3,49	2	1,09	11:05
09	0,025	0	0	0	

Próximo à desembocadura do estuário do Rio Almada, houve a formação de uma pluma em forma de frente estuarina (pontos 1,2 e 3). Sua cor marrom-amarelado escuro caracteriza elevada concentração de substâncias amarelas (matéria orgânica dissolvida e particulada) (KAMPEL, et al., 2005). Seu comportamento espectral caracteriza uma pluma do Caso 2, rica em matéria orgânica dissolvida. Segundo Nichol (1993), o comportamento da reflectância no intervalo do visível, para água contendo altos níveis de matéria orgânica dissolvida, é inversa ao da água do oceano. A água azul do oceano exibiu uma reflectância baixa na banda λ_1 (2.4%) decrescendo ainda mais até a banda λ_3 (0%). A área representada pelos pontos 4 e 5 possui sua maior reflectância concentrada na banda λ_2 (5.2%) e baixa reflectância na banda λ_3 (1.7%). Isso pode indicar uma maior contribuição do fitoplâncton, nos valores de TSS, pois a entrada de nutrientes e material particulado disponibilizados no sistema marinho pela descarga estuarina enriquece a zona costeira adjacente, proporcionando o aumento natural das concentrações de fitoplâncton e a consequente mudança da cor marrom-amarelado para a esverdeada (LORENZZETTI et al., 2007).

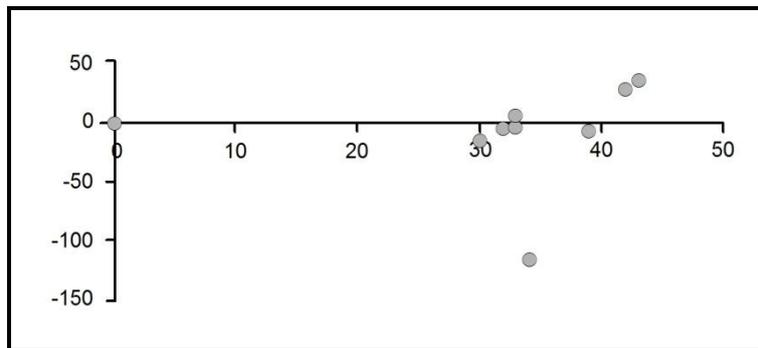
Já os pontos 6, 7 e 8 possuem seus valores de TSS relacionados a uma água com elevada reflectância nas bandas λ_2 (7.8%) e λ_3 (4.2%). A banda λ_2 (0,52 - 0,6 μm) apresenta grande sensibilidade à presença de sedimentos em suspensão, a banda λ_3 é sensível à reflectância na região do espectro eletromagnético compreendido entre 0,63 - 0,69 μm , esse intervalo capta os pigmentos vermelhos, característicos de sedimentos em suspensão (NICHOL, 1993). A alta reflectância na banda λ_1 (7.2 %) indica a presença de material orgânico dissolvido e particulado, além do sedimento inorgânico na coluna d'água. Essa assinatura espectral é típica de águas do Caso 2, com a presença de material em suspensão orgânico e inorgânico de natureza sedimentar. Porém as partículas inorgânicas apresentam um índice de refração muitas vezes maior que as partículas orgânicas e, portanto, dominam o sinal retroespalhado pelo conjunto de partículas em suspensão.

O R^2 mostrou uma relação positiva e significativa de 0.75 entre as duas variáveis. A análise de resíduos evidenciou um ótimo ajuste dos valores de TSS gerados na imagem localizados nos pontos 1,2,3 e 8, apresentando uma baixa variação no valor de TSS (Tabela 2). Analisando a tabela 1 podemos perceber um padrão inverso entre os valores de TSS *in situ* e a reflectância. Os pontos 4 e 5, apresentaram os maiores valores de TSS *in situ* e baixa reflectância. É provável que diferenças na composição e concentração de COA nos pontos 4 e 5 apresentem uma alta contribuição do fitoplâncton ou de algum material resultante de sua atividade biológica não detectado no comprimento de onda centralizado na bandas λ_3 .

Tabela 2: Valores de TSS e seus respectivos resíduos.

Pontos	TSS (in situ)	TSS (imagem)	Resíduo (imagem)
01	33	28	5
02	32	37	-5
03	38,7	47	-8
04	42,5	9	34
05	41,8	14	28
06	33,7	149	-115
07	29,7	47	-17
08	32,8	37	-4
09	0,025	1,2	-1,2

Figura 6: Valores residuais plotados no eixo y e os valores de TSS obtidos in situ no eixo x. Escala em mg/L.



Fonte: FALCÃO FILHO et al. (2016).

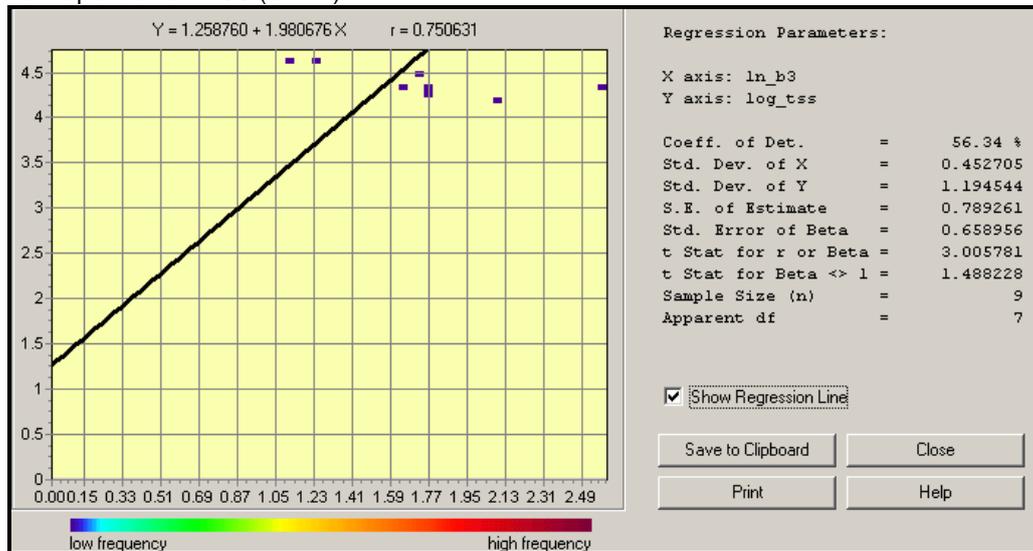
A regressão examina e explora as relações físicas e espaciais entre $R(\lambda)$ e o parâmetro TSS (Figura 7), gerando o modelo empírico regional abaixo (Equação 4).

$$\ln(\text{TSS}) = 1.258760 + 1.980676 * (\ln(\text{Banda } 3\lambda) + 1) \quad \text{Equação 4.}$$

A partir da aplicação do modelo empírico proposto na banda λ_3 da imagem TM, foi possível mapear os TSS, convertendo os valores físicos de refletância em valores Logaritmos naturais de TSS (Figura 8).

Os valores de TSS seguiram a tendência esperada para a distribuição da concentração de sedimento suspenso na plataforma continental (Figura 8). As maiores concentrações encontram-se localizadas até a profundidade de 5 m, e distribuem-se ao sul da imagem com valores superiores a 400 mg/l. Essa maior concentração pode ser explicada através de dois mecanismos de transporte, a célula de circulação litorânea e corrente longitudinal, ambas resultado da incidência de ondas do sistema sul-sudeste (*swell*) no fundo raso (BOWEN e INMAN, 1970; INMAN e BRUSH, 1973; MARTIN et al., 1998). No inverno estas ondas são mais constantes e provocam um aumento significativo do volume de sedimento suspenso. Nesse período os sedimentos são transportados ao longo da região costeira no sentido sul-norte pela corrente longitudinal e pelo vento sudeste, mais constante nessa estação do ano. Este sistema de correntes induzido por ondas do sistema sul-sudeste, possui significativa importância na deriva litorânea e podem introduzir quantidades significativas de sedimentos nas planícies costeiras aqui consideradas (MARTIN et al., 1983).

Figura 7: Regressão entre os valores da reflectância das águas costeiras e oceânicas com os respectivos valores de TSS *in situ*, ambos em escala Logaritmo natural. Variável independente = reflectância (eixo x); Variável dependente = TSS (eixo Y).



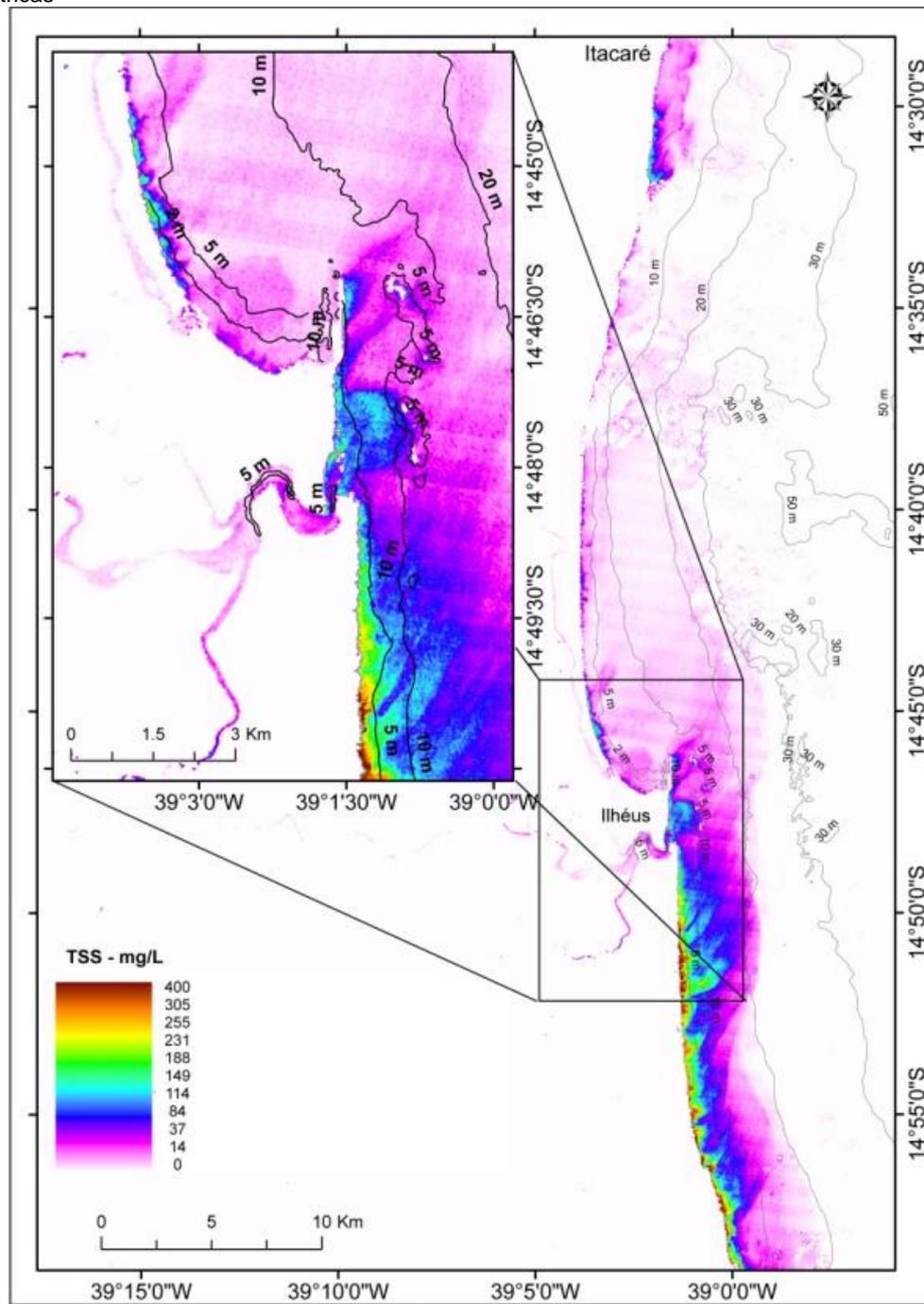
Fonte: FALCÃO FILHO et al. (2016).

Nos locais com profundidades de 5m até 20 m as concentrações de sedimento variaram de 230 mg/l para 34 mg/l no sul da imagem. A concentração de sedimento suspenso diminuiu em função do aumento da profundidade, pois as ondas tendem a conter boa parte do sedimento suspenso contra a praia em lugares rasos (INMAN e FRAUTSCHY, 1966). Outro aspecto evidente na imagem é o transporte de sedimento sentido norte, realizado pelo vento sudeste, tanto quanto pela deriva litorânea de sentido norte. Outra energia responsável pelo transporte norte em maiores profundidades é a Sub-Corrente Norte do Brasil (*NBUC – North Brazil Under Current*), frequente no mês em que a imagem foi gerada.

Segundo Rodrigues et al. (2007), essa região da plataforma é localizada na latitude da bifurcação, tornando-se sujeita a variabilidade na dinâmica de macro e meso-escala. Dessa forma o transporte muda para sul no verão, quando a Corrente do Brasil (*BC*) passa a dominar (REZENDE, 2010). As reduzidas dimensões da plataforma (cerca de 15 Km de largura) a tornam adjacente ao oceano aberto contribuindo ainda mais para a formação dessa variabilidade sazonal. Sendo assim, em menor escala, a resposta será uma variação sazonal do transporte na Plataforma Interna Leste, em torno de 14° de latitude, onde se encontra a presente área de estudo (REZENDE, 2010).

As maiores concentrações de TSS localizam-se ao Sul da imagem. Essa concentração também está relacionada aos processos erosivos e de escoamento superficial em áreas ligadas a depósitos sedimentares terciários da formação barreiras, característica que distingui a zona costeira nesta parte da plataforma Leste do Brasil (KNOPPERS et al., 1999) (Figura 8).

Figura 8: Mapa de TSS superficial em 2 escalas elaborado a partir da aplicação do modelo empírico na banda $\lambda 3$ do sensor TM a bordo do satélite Landsat 5. O modelo simula a distribuição espacial e cada pixel representa um valor de TSS para o dia 25/08/09. Valores de profundidade indicados nas linhas batimétricas



Fonte: FALCÃO FILHO et al. (2016).

A extensa área costeira com linha de costa suave e a descarga de água fluvial possibilitam a mistura de material terrígeno e poluentes na zona de *surf*. Esse aporte fluvial entra no sistema costeiro de circulação e são carregados ao longo da costa e misturados com as águas litorâneas através das correntes longitudinais (INMAN et al., 1971). Essas partículas possuem a capacidade de inibir ou enriquecer os ecossistemas costeiros, causando eutrofização e degradação de habitats marinhos biologicamente produtivos (OUILLOON et al., 2008;

FABRICIUS, 2005). Entre outras consequências estão o aumento da turbidez, da sedimentação e a diminuição de oxigênio dissolvido na água.

Outro fator que contribuiu para as concentrações de sedimento em regiões mais distantes da costa foi o sentido da corrente de maré. As ondas de maré possuem seu mecanismo de funcionamento exatamente da mesma forma que as ondas induzidas por ventos, porém mais lentas na velocidade e maiores no tamanho. Dessa forma a variação da maré, entre a pré-mar e baixa-mar, forma uma corrente de maré induzida por uma onda de maré, similar a uma corrente de retorno, constituindo em um importante mecanismo de transporte de sedimentos (SHORT, 1991). Todos esses processos descritos agem de forma integrada e possuem escalas temporais distintas. Além disso, a variabilidade desses processos é alta acarretando na diferença de dominância dos mesmos conforme a época do ano, dia do mês ou o horário.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O mapeamento do TSS, por meio da construção do modelo empírico calibrado para as condições da região, mostrou-se viável do ponto de vista prático desde que haja a entrada de dados que correspondam à situação específica do local. Nesse caso, levando em consideração o clima oceanográfico no momento da captura da imagem, a pluma estratificada sobre a água marinha influenciou a escolha da banda $\lambda 3$ de menor penetração na coluna d'água. A informação gerada forneceu a distribuição da concentração de sedimento na camada de turbidez, evidenciando informações referentes à entrada e dinâmica do sedimento na zona costeira.

O esforço amostral deve ser melhorado o suficiente para que a diferença de tempo entre a coleta dos dados *in situ* com relação à passagem do sensor seja minimizada ao máximo, a fim de se obter um modelo mais acurado. Adquirir uma maior acurácia ao tratamento gravimétrico, para que a contribuição de outros COA que não podem ser detectados pela banda $\lambda 3$ sejam quantificados e retirados do modelo, pois todo o constituinte sólido das amostras foi considerado na geração dos modelos. Isso poderia diminuir a contribuição de outros COA e consequentemente melhorar a acurácia do modelo.

Outro fator a ser considerado é a complexidade do ambiente costeiro estudado. Seu litoral é extenso e apresenta contornos geográficos suaves, além do aporte fluvial. Isso interfere na capacidade de detecção das partículas. Isso pode ser explicado considerando que a natureza e o tamanho do sedimento, em conjunto com a concentração relativa de várias substâncias presentes em águas do Caso 2, influenciam na relação entre TSS e $R(\lambda)$. E essa relação depende das propriedades refletivas de cada tipo de sedimento. Muitas vezes, a variação do tamanho do sedimento pode provocar respostas que comprometem a estimativa de TSS a partir de seu brilho.

A partir desse modelo regional ajustado às condições físicas existentes no Sul da Bahia, será possível verificar sua eficácia através de uma nova campanha oceanográfica, que irá produzir valores do mesmo fenômeno, no mesmo lugar, em outro tempo, tanto no passado quanto no futuro. Portanto, considerando a série de imagens TM disponíveis na base de dados do DGI-INPE, para essa mesma região iniciando em 1985 e com imagens MSS iniciando em 1976, será possível obter informações sobre o clima oceanográfico na zona costeira e dispersão de sedimentos e seu balanço no ambiente costeiro. E ainda obter informações sobre como os processos costeiros envolvidos na dinâmica sedimentar atuam no controle da dispersão das plumas sedimentares na região.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao CNPq, através do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia TMC Ocean. Ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas Aquáticos Tropicais da Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC). Ao Núcleo de Bacias Hidrográficas da UESC. E a Oceanauta Engenharia Ambiental e Estudos Oceanográficos.

REFERÊNCIAS

- ACKER, J.; OUIILLON, S.; GOULD, R.; ARNONE, R. Measuring marine suspended sediment concentrations from space: History and Potential. In: **8th International Conference on Remote Sensing for Marine and Coastal Environments**, Halifax, NS, Canada, May 17-19, 2005.
- CEPTEC-INPE - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Previsão Numérica**. 2009. Disponível em: <<http://www.previsaonumerica.cptec.inpe.br>>. Acesso em 22 de agosto de 2009
- CHEN, Z.; HANSOM, J.D.; CURRAN P.J. The form of the relationship between suspended sediment concentration and spectral reflectance: its implications for the use of Daedalus 1268 data. **Int. J. Remote Sensing**, v.12, n.1, p. 215 – 222, 1991.
- DAGG, M.; BENNER, R.; LOHRENZ, S.; LAWRENCE, D. Transformation of dissolved and particulate materials on continental shelves influenced by large Rivers: plume processes. **Continental Shelf Research**, v.24, p.883-858, 2004.
- DOMINGUEZ, J.M.L.; BITTENCOURT, A.C.; MARTIN, L. Esquema evolutivo da sedimentação quaternária nas feições deltaicas dos rios São Francisco (SE AL), Jequitinhonha (BA), Doce (ES) e Paraíba do Sul (RJ). **Rev. Bras. Geoc.** V.11, n. 4, p.227-237, 1981.
- DOMINGUEZ, J.M.L.; BITTENCOURT, A.C. Regional assessment of long-term trends of coastal erosion in northeastern Brazil. In: Academia Brasileira de Ciências. Anais. v.68, 1996. p. 355 – 371.
- DOMINGUEZ, J.M.L. The Coastal Zone of Brazil. In: DILLENBURG S.R.; HESP P.A. **Geology and Geomorfology of Holocen Coastal Barriers of Brazil**. Springer V.107, 2009.
- EASTMAN, J.R. Idrisi Andes Tutorial. Worcester: **Clark Labs University**. p.284, 2006
- FABRICIUS, K.E. Effects of terrestrial runoff on the ecology of corals and coral reefs: review and synthesis. **Marine Pollution Bulletin**. v.50, p.125–146, 2005.
- GREEN, E.P.; MUMBY, P.J.; EDWARDS, A.J.; CLARK, C.D. Remote Sensing Handbook for Tropical Coastal Management. **Coastal Management Sourcebooks**. Paris: UNESCO, p.316, 2000.
- GEYER, W.R.; HILL, P.S.; KINEKE, G.C. The transport, transformation and dispersal of sediment by buoyant coastal flows. **Continental Shelf Research**, v.24, p. 927-949, 2004.
- GORDON, H.R.; MOREL, A. Remote assessment of ocean colour for interpretation of satellite visible imagery: a review. In: **BOWMAN, M.J., BARBER, R.T., MOOERS, C.N.K., RAVEN, J.A. Lecture Notes on Coastal and Estuarine Studies**. Berlin, p.1 – 114, 1983.
- HILTON, J.C. Application of eigenvector analysis to remote sensing of coastal water quality. **Int. J. of Remote Sensing**. v. 12. n 7, p. 1441 – 1460, 1991.
- INMAN, D.L.; BRUSH, B.M. The Coastal Challenge. **Science**, v. 181, p. 20-22, 1973.
- INMAN, D.L.; FRAUTSCHY J.D. In: **Coastal Engineering**. Santa Barbara Specialty Conference; American Society of Civil Engineers. New York: p. 511-536, 1966.
- INMAN, D.L.; TAIT, R.J.; NORDSROM, C.E. Mixing in the surf zone. **Journal of Geophysical Research**. v.76, n.15, p.3493–3514, 1971.
- INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Divisão de Geração de Imagens**. 2009. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/siteDgi/index_pt.php>. Acesso em: 30 de agosto de 2009.
- KAMPEL, M.; NOVO, E.M.L.M. O sensoriamento remoto da cor da água. In: DE SOUZA R.B. **Oceanografia por Satélites**. São Paulo: Oficina de Textos, p. 179-196, 2005.
- KAMPEL, M.; GAETA, S.A. Estimativa da produtividade primária oceânica. In: RUDORFF B.F. T.; SHIMABUKURO Y.E.; CEBALLOS J.C. **O Sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil**. São José dos Campos: Parêntese, 2007. p. 277 - 294.

- KIRK, J.T.O. Light and photosynthesis in aquatic ecosystems. Cambridge: **Cambridge University Press**, p. 436, 1983.
- KOMAR, P.D. Beach Processes and Sedimentation. **Prentice-Hall, Inc.**, Englewood Cliffs, New Jersey: p.429, 1976.
- LIU, W.T.S.E. **Aplicações de Sensoriamento Remoto**. Campo Grande: Editora Uniderp, 2007.
- LORENZZETTI, J.A.; KAMPEL, M. Produtos para Oceano – MOCEAN. In: RUDORFF, B.F.T.; SHIMABUKURO Y.E.; CEBALLOS J.C. **O Sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil**. São José dos Campos: Parêntese, 2007. p. 48 - 52.
- LORENZZETTI, J.A.; NEGRI, E.; KNOPERS, B.; MEDEIROS, P.R.P. Uso de imagens LANDSAT como subsidio ao estudo da dispersão de sedimentos na região da foz do rio São Francisco. In: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO. **Anais Florianópolis: INPE**. Florianópolis, 2007. p.3429-3436.
- MARTIN, L.; SUGUIO, K.; FLEXOR, J. M.; BITTENCORT, A.C.S.P.; VILAS BOAS, G.S. Le Quateraire Marin bresilien. Littoral pauliste Sud-fluminense et Bahia Anais. littoral pauliste: Serie Geologic. p.95-12,. 1980.
- MATOS, M.A. Manual Operacional para a Regressão Linear. FEUP. 1995. p 0- 26.
- McFEETERS, S.K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. **International Journal of Remote Sensing**, v.17, n.7, p.1425-1432, 1996.
- MILLIMAN, J.D.; SYVITSKI, J.P.M. Geomorphic/tectonic control of sediment discharge to the ocean: The importance of small mountainous rivers. **Journal of Geology**, v.100, n.5, p.325-344, 1992.
- MOREL, A.; PRIEUR, L. Analysis of Variations in Ocean Colour. **Limnology and Oceanography**, v. 22, n. 4, p.709–722, 1977.
- MOLLER, G.S.F.; NOVO, E.M.L.M.; KAMPEL, M. Aplicação da técnica de modelo linear de mistura espectral para o mapeamento da pluma do Rio Amazonas. *Geografia, Rio Claro*, v.33, n.2, p. 331-349, 2008.
- NICHOL, J.E. Remote Sensing of Water Quality in the Singapore-Johor-Riau Growth Triangle. **Remote Sensing of Environment**. v.43, p.139-148, 1993.
- OUILLO, S.; DOUILLET, P.; PETRENKO, A.; NEVEUX, J.; DUPOUY, C.; FROIDEFOND J. M.; ANDRÉFOUET, S.; MUÑBZ-CARAVACA, A. Optical Algorithms at Satellite Wavelengths for Total Suspended Matter in Tropical Coastal Waters. **Sensors**. v. 8, n.7, p. 4165-4185, 2008.
- PETHICK, J. **An Introduction to coastal Geomorphology**.1984.
- PETERSON, R.G.; STRAMMA, L. Upper - level circulation in the South Atlantic Ocean. **Progress in Oceanography**. v. 26, p.1 – 73, 1991.
- REZENDE, L.F. **Dinâmica em múltiplas escalas na margem continental leste brasileira**. Tese (Doutorado em Física) - Portugal: Universidade de Aveiro. 2010.
- RICHER, R. ATCOR User Manual. **Geosystems: Oberpfaffenhofen Institute of Optoelectronics**. 2008. 204p.
- RODRIGUES, R.R.; ROTHSTEIN, L.M.; WIMBUSH, M. Seasonal variability of the South Equatorial Current bifurcation in the Atlantic Ocean: A numerical study. [Journal of Physical Oceanography](#). v.37, n.16, p.16 - 30, 2007.
- SILVEIRA, I.C.A. da; MIRANDA, L.B.; BROWN, W.S. On the origins of the North Brazil Current. **Journal of Geophysical Research**. v.99, n.11, p.2205 – 22512, 1994.
- SUGUIO, K.; MARTIN, L.; FLEXOR, J.M. Sea level fluctuations during the past 6000 year along the coast of the state of Sao Paulo (Brazil). In: MORNER, N.A. **Earth Rheology, Isostasy, and Eustasy**. New York, Wiley & Sons.1980, p. 471-486.

STRENZEL, G.M.R. Caracterização da paisagem submersa costeira para a gestão de áreas marinhas protegidas. Tese (Doutorado em Meio Ambiente) – Espanha: Universidade de Las Palmas de Gran Canária. 2004.

SHORT, A.D. Macro-meso tidal beach morphodynamics - an overview. **Journal Coast. Research**, v.7, n.2, p.417-436, 1991.

TASSAN, S. A numerical model for the detection of sediment concentration in stratified river plumes using Thematic Mapper data. **International Journal of Remote Sensing**, v.18, n.12, p.2699 – 2705, 1997.

TASSAN, S. A procedure to determine the particulate content of shallow water from Thematic Mapper data. **International Journal of Remote Sensing**, v.19, n.3, p.557 – 562, 1998.

.