

Exemplo de uso de SR e Experimento de laboratório em sala de aula para maximizar o entendimento de fenômenos hidrodinâmicos em reservatórios

Arcilan Trevenzoli Assireu^{1,2}
Rafael Almeida²
Felipe Siqueira Pacheco²
Fábio Roland da Silva²
Evlyn Márcia Leão de Moraes Novo¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{Arcilan, evlyn}@dsr.inpe.br

²Universidade Federal de Juiz de Fora LEA/UFJF
CAMPUS Universitário – Bairro Martelos – 36036-900 - Juiz de Fora - MG, Brasil
Fabio.Roland@edu.ufjf.br
{rafaelmarquesjf, felipeufjf}@yahoo.com.br

Abstract. One of the most important advantages of Remote Sensing is its capability in enable us to study natural process in a synoptic frame. Despite of this important advantage, the correctly interpretation and comprehension of the remote sensing product not always is easy and normally require long time experience for its correctly interpretation. In this work we present an example of simple experiment, which could be realized in schools in order to facilitate the remote sensing data interpretation. The goals of this paper is to encourage the teachers and educators to the importance of relatively simple experiments in bring out facilitations to the remote sensing data interpretation.

Palavras-chave: remote sensing, sensoriamento remoto em sala de aula, educação, interpretação de fenômenos.

1. Introdução.

As concepções pedagógicas modernas concordam com o fato de que atividades que levem o aluno a experimentar processos são fundamentais para a perfeita compreensão destes processos. O uso escolar do Sensoriamento Remoto (SR) facilita tanto o estudo do espaço geográfico e do meio ambiente como a prática da interdisciplinaridade (Florenzano, 2002). Porém, a proposta de trabalho com os recursos de Sensoriamento Remoto na escola não deve se limitar a uma mera transferência mecânica de informações (Gonçalves, 2005). Como afirma o educador Gutierrez (1979), “o mero fato de interpretar ou apropriar-se de um saber não é suficiente para que, com propriedade de termos, possamos falar de aprendizagem ‘autêntica’. Somente pode chamar-se autêntico o conhecimento que em si mesmo e por si mesmo seja produtivo e transformador, o que requer do preceptor que ele o transforme em conhecimento seu e reestruture à sua maneira a informação”. Um país terá maior potencial para a resolução de seus problemas sociais, econômicos e tecnológicos, ao propiciar para suas crianças uma formação que lhes permita enfrentar novos problemas, tornando-os cidadãos conscientes de seu papel na sociedade (Moraes e Florenzano, 2005).

O potencial do SR pode ser ampliado se utilizado em conjunto com outros dados e recursos como trabalho de campo e experimentos de laboratório. Neste trabalho será apresentada uma discussão em torno de um exemplo de como processos observados, a partir de produtos oriundos do Sensoriamento Remoto, podem ser discutidos à luz de experimentos realizados em laboratórios e explorados em sala de aula. O experimento realizado serviu como forma de constatar e dinamizar um processo físico observado em imagens de satélite que ocorre entre o contato da água do rio com seu reservatório. No exemplo que segue foram utilizadas imagens do satélite Landsat-5 na faixa do espectro eletromagnético relativo ao visível e infravermelho (temperatura da água) para estudar o encontro entre o rio e o

reservatório formado a partir do represamento do rio. A forma como adentra ao reservatório é fundamental para vários aspectos ecológicos do reservatório, bem como tem importância para os processos de mistura, estratificação da temperatura e emissão de gases por estes reservatórios. O rio, ao chegar ao reservatório, pode apresentar três tipos de comportamento hidrodinâmico distintos, dependendo principalmente da sua temperatura em relação as águas do reservatório (Ford, 1990):

1) Se a temperatura for maior que a do reservatório, o rio fluirá como uma camada superficial, na altura do epilímnio (*overflow*).

2) Se o rio tiver uma temperatura mais baixa que a do reservatório, mergulhará e seguirá sua antiga calha, fluindo sob o reservatório, na altura do hipolímnio (*underflow*).

3) Se tiver uma temperatura mais baixa do que a do epilímnio e mais alta do que a do hipolímnio do reservatório, ele fluirá nas camadas intermediárias, na altura do metalímnio (*interflow*).

Desta maneira, a chegada do rio em um reservatório tem importantes implicações hidrodinâmicas, influenciando nos ciclos biogeoquímicos de diversos compostos, na estrutura térmica do reservatório e na produção primária. O tipo de entrada do rio também pode influenciar fortemente nos níveis de emissões de gases de efeito estufa CO₂ e CH₄ em reservatórios, assunto que vem sendo discutido há algum tempo por pesquisadores (Saint-Louis, 2000), já que inicialmente as usinas hidroelétricas eram vistas como fonte limpa de produção de energia.

2. Materiais e Métodos

Foram utilizadas imagens TM obtidas do Satélite Landsat-5. O nível de cinza nas imagens do sensor Thematic Mapper (TM) do Landstat é representado como nível digital (ND) com variação entre 0 e 255 (8 bits). Assim, as estimativas da temperatura de brilho a partir da banda relativa à faixa do espectro eletromagnético correspondente ao infra-vermelho termal – TM6 (10.5–12.5µm) leva em conta a conversão de radiância para temperatura de brilho. Para este propósito é utilizada uma equação desenvolvida pelo National Aeronautics and Space Administration (NASA) (Markham and Barker, 1986). O conteúdo de vapor d'água e as temperaturas atmosféricas, necessárias para alimentar a equação de correção atmosférica (Qin et al., 2001), foram medidos pelo Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) vinculado ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Com base nas informações obtidas das imagens de satélite, foram elaboradas algumas hipóteses sobre o comportamento do rio, hipóteses estas que foram testadas por meio de experimentos realizados em laboratório e utilizados em Sala de Aula. O experimento foi elaborado e reproduzido durante a disciplina “Princípios Físicos Aplicados a Ecologia” oferecida para alunos da Pós-graduação em Ecologia e Graduação em Biologia da Universidade Federal de Juiz de Fora. Os experimentos foram realizados nos dias 17 e 18 de outubro de 2008.

2.1 Experimento realizado em Laboratório e explorado em Sala de Aula

Um aquário com capacidade para 600 litros foi usado para o experimento. Com uma rampa feita de vidro, o tanque foi dividido diagonalmente em duas partes, simulando o desnível típico que o rio experimenta ao longo de um reservatório. Para simular a entrada do rio foi utilizado um béquer contendo 3 litros de água, sendo que em cada situação as águas foram coradas com anilina para que se pudesse visualizar o movimento. Nas três situações o tanque foi cheio com água na temperatura de 20°C. Para o interflow, o béquer foi cheio com água na mesma temperatura da do tanque e corada com anilina vermelha. Para o overflow, o Becker foi cheio com água na temperatura de 30°C e corado com anilina azul. Por fim, para representar o underflow, o Becker foi cheio com água na temperatura de 10°C e corado com

anilina roxa. A água foi adicionada na parte superior da rampa, que serviu para representar a calha do rio como pode ser visto na Figura 1. A temperatura da água foi medida em cada etapa com um termômetro. Desta forma, foi possível observar o comportamento de entrada do rio quando a temperatura deste estava igual, mais quente e mais fria do que a do reservatório.

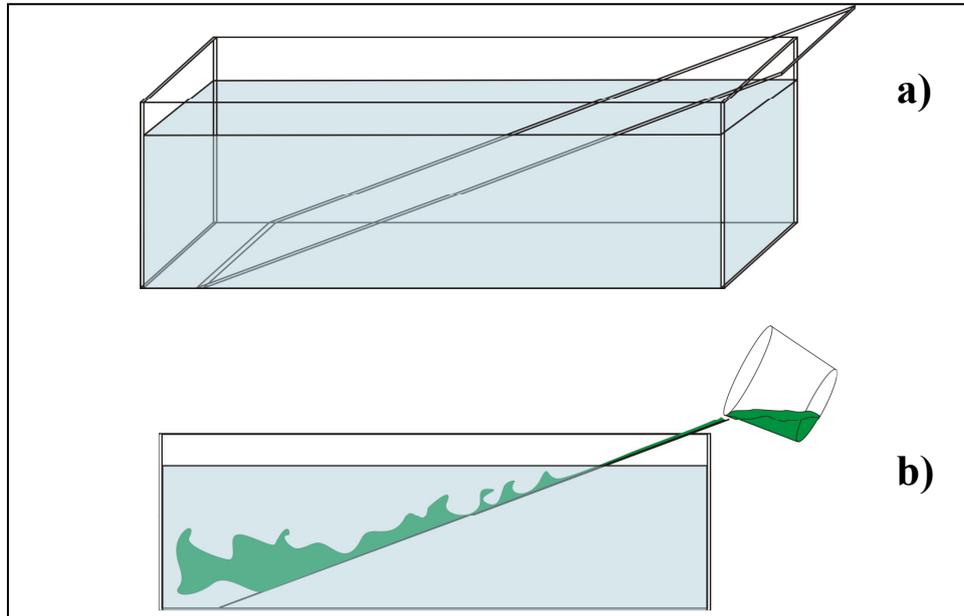


Figura 1. Esquema do tanque, com a rampa de vidro (a) e a forma como a água foi despejada no tanque para simular a entrada do rio (b).

3. Resultados e Discussão

A capacidade do Sensoriamento Remoto em permitir a visualização sinóptica e multitemporal de fenômenos e processos confere a esta técnica uma vantagem ímpar quando comparado a outras formas de obtenção de informações. Um importante evento que ocorre em reservatórios, seja hidrelétrico ou de abastecimento, é o encontro entre as águas do rio e as do reservatório (Figura 2). Durante o período das chuvas, o rio apresenta temperaturas menores do que a do reservatório (Figura 2-b) e maiores níveis de sólidos suspensos ou dissolvidos (Figura 2-a), o que faz com que as águas do rio apresentem maior densidade e, portanto, mergulhem e passem a fluir ao longo do antigo canal do rio como uma corrente profunda (*underflow*). Isto é o que seria esperado de acordo com a teoria e o conhecimento a priori baseados em mecânica de fluidos.

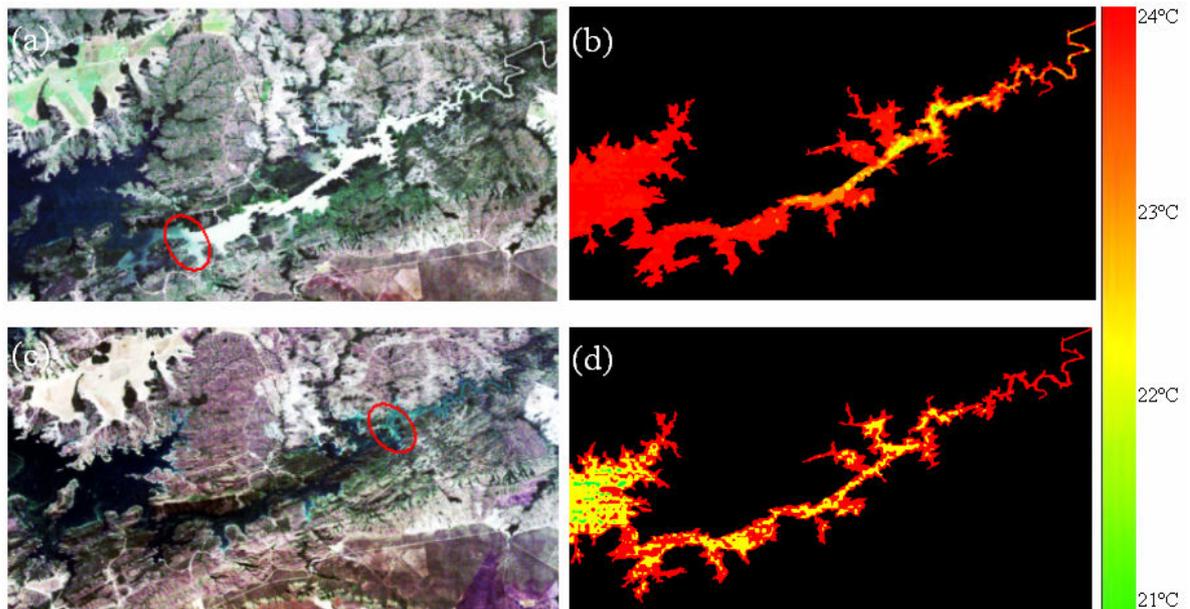


Figura 2. Imagens de satélite no período de chuva (25 de Março) (a,b) e período da seca (16 de julho) (c,d) para o Reservatório de Manso (MT), indicando variações na posição de encontro do rio e reservatório (circulo em vermelho). As imagens são na faixa do visível (bandas 1, 2 e 3 – azul, verde e vermelho, respectivamente) (a,c) e temperatura da água (b,d) estimada a partir da banda do termal (canal 6) do TM-Landsat-5.

Um experimento simples de laboratório, como o realizado neste estudo, comprovou a teoria sobre esse fenômeno (Figura 3) e serviu como um eficiente recurso didático. Quando água mais fria do que a água do tanque foi introduzida (10°C contra 20°C), esta fluiu nas camadas inferiores (*underflow*). Esse fato ocorre tipicamente no verão, quando a quantidade de sólidos dissolvidos é maior no rio e a temperatura é menor, o que deixa a água mais densa. Ao atingir as camadas inferiores, a água do rio causa turbulência devido à diferença de velocidade entre a água do rio submerso e as águas do reservatório, processo conhecido como Instabilidade de Kelvin-Helmoltz, o que pode levar águas do metalímnio e do hipolímnio para o epilímnio (Assireu et al, 2008 em preparação).

Quando um corpo d'água está estratificado, tende a acumular metano e gás carbônico no hipolímnio. Quando ocorre a mistura da coluna d'água, com águas do fundo indo em direção ao epilímnio, esses gases que antes ficavam restritos ao hipolímnio, devido à diferença de densidade da água, supersaturam as camadas superiores, ocorrendo fluxo de CO_2 e CH_4 em direção à atmosfera. Portanto, pode ser assumido que esse movimento de águas mais densas e frias (e mais ricas em gases estufa) em direção à superfície altera os ciclos biogeoquímicos nos sistemas aquáticos, gerando inclusive aumento da emissão de gases de efeito estufa.

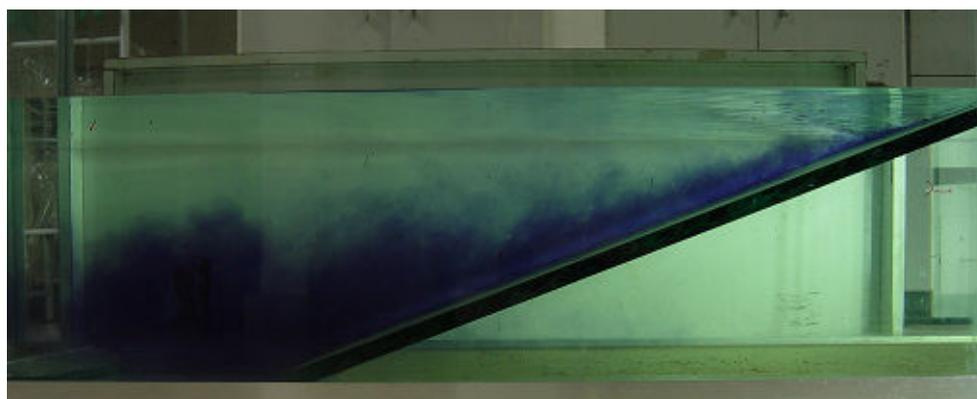


Figura 3. Experimento em Laboratório para demonstrar o comportamento do rio sob as águas do “reservatório”.

Outra implicação desse comportamento da água é o aumento da emissão de metano através de bolhas que se desprendem do sedimento devido à agitação causada pela turbulência que o rio exerce sobre o sedimento. A decomposição anaeróbica de matéria orgânica ocorre principalmente no sedimento, com produção de metano (metanogênese).

Análises das imagens de satélite para o período seco (inverno) indicam que neste período a temperatura do rio é aproximadamente a mesma ou até superior à do reservatório (Fig. 2-d) e que as diferenças na turbidez do rio e reservatório são menores (Fig. 2-c) quando comparadas ao período das chuvas. Os experimentos foram feitos levando em conta também estes cenários.

Quando água mais quente do que a do tanque foi introduzida (30°C contra 20°C do tanque), esta fluiu sobre a água do tanque (*overflow*), o que indica e confirma que quando um rio tem águas mais quentes e, portanto, menos densas do que do reservatório, fluirá nas partes superiores do reservatório (Figura 4). Essa situação é comum durante as estações secas (inverno e primavera), quando a temperatura do rio está normalmente mais alta do que a do reservatório.

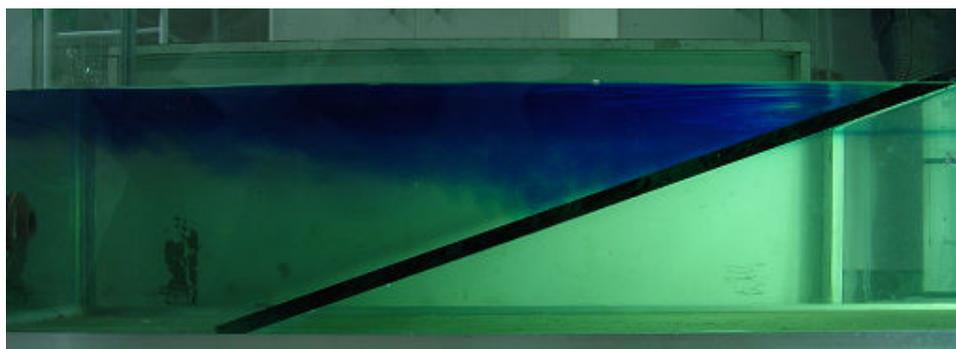


Figura 4. Experimento em Laboratório para demonstrar o comportamento do rio como *overflow* (água do rio com temperatura maior do que a do reservatório).

Dentre as conseqüências do overflow pode-se destacar o aumento da turbidez na camada produtiva. Isso ocorre porque o rio possui mais sólidos em suspensão do que o reservatório, fato proveniente do escoamento da bacia de drenagem; o aumento de decomposição de matéria orgânica nas camadas superiores sustenta-se no fato de os rios, em geral, possuírem grande quantidade de matéria orgânica de origem alóctone, carreando-a através de seu curso. Assim, ao se encontrar com o reservatório, esse material vai “estacionando”, servindo como fonte para bactérias que obtêm energia através da degradação aeróbica da matéria orgânica. Essa degradação tem como produto final o gás carbônico, aumentando sua concentração nas camadas superiores e, conseqüentemente, sua emissão para a atmosfera através da difusão. A degradação desse material orgânico, como dito anteriormente, ocorre com consumo de oxigênio, de forma que isso pode levar uma depleção desse elemento nas camadas superficiais.

O *interflow* foi observado quando se introduziu água na mesma temperatura da do tanque (20°C). Desta forma, a água fluiu como uma camada intermediária, como pode ser visto na Figura 5. Este tipo de comportamento de entrada do rio ocorre geralmente no final do verão, quando a temperatura da água do rio é menor do que a da superfície do reservatório e maior

do que a do fundo do reservatório (Thornton et al, 1990). É, portanto, uma transição do underflow, que ocorre na estação chuvosa, para o overflow, que ocorre durante a estação seca.

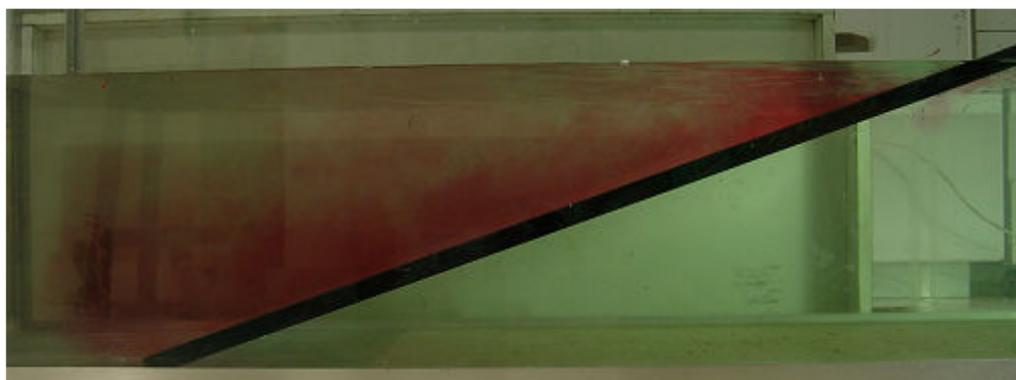


Figura 5. Experimento em Laboratório para demonstrar o comportamento do rio como *interflow* (água do rio com temperatura igual a do reservatório).

O experimento realizado em laboratório para representar o comportamento da água do rio quando entra em contato com a do seu reservatório mostrou-se um eficiente recurso didático nas aulas. Os alunos, ao visualizarem os fenômenos de entrada do rio, demonstraram maior interesse no estudo da hidrologia fazendo com que dúvidas em outros fenômenos que ocorrem durante esse processo pudessem ser discutidas de forma dinâmica. Além disso, os experimentos trouxeram maior credibilidade nas informações extraídas das imagens de satélites por comprovarem que os diferentes tipos de entrada nos reservatórios, *underflow*, *underflow e interflow*, são possíveis de acontecer quando o rio apresenta, de acordo com as estações do ano, temperatura diferente comparado a do corpo do reservatório.

4. Conclusão

O nível de motivação dos alunos, verificado com os experimentos realizados durante as aulas, bem como o interesse demonstrado diante dos fatos concretamente expostos e discutidos, demonstraram a importância e eficiência dos recursos utilizados para os processos cognitivos. A verificação, a partir de experimentos facilmente exequíveis em sala de aula, dos processos sugeridos pelas imagens satelitárias, demonstra que, se esforços forem dispensados neste sentido, o Sensoriamento Remoto pode ser eficazmente aproximado para o cotidiano das pessoas e que as duas formas de representação do fenômeno podem maximizar o processo de ensino aprendizagem.

Agradecimentos

Os autores são gratos a FURNAS Centrais Elétricas pelo suporte ao Projeto “Balanço de Carbono em Reservatórios Hidrelétricos” e à Dra. Teresa Gallotti Florenzano pelas importantes sugestões no texto final. Este trabalho é resultado da contribuição entre o Laboratório de Ecologia Aquática da Universidade Federal de Juiz de Fora e da Divisão de Sensoriamento Remoto do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Programa Processos da Hidrosfera.

Referências Bibliográficas

Assireu, A.T., Lima, I.B.T., Novo, E.M.L.M., Roland, F., Pacheco, F.S., Alcantara, E.H., Stech, J.L., Lorenzetti, J.A., Barros, N.O., Marani, L. Underflow suspension induced by the interplay between upwelling and Kelvin-Helmholtz instability in tropical Manso Reservoir, Brazil. Em preparação.

Florenzano, T. G. Imagens de satélite para estudos ambientais. São Paulo, Oficina de Textos, 97p. 2002.

Ford, D. E. Reservoir Transport Processes. In: Thornton, K. W., Bruce L. Kimmel, B. L. , Forrest E. Payne, F. E. (Org.). **Reservoir Limnology: Ecological Perspectives**. Wiley-Interscience. p. 15-41, 1990.

Gonçalves, M. I. Uso de Sensoriamento Remoto na produção do conhecimento escolar como proposta para utilização das tecnologias espaciais na sala de aula. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 12., 2005, Goiânia. **Anais XII SBSR**, Artigos, p. 1289-1296.

Gutierrez, F. **Linguagem total: uma pedagogia dos meios de comunicação**. São Paulo: Summus, 1979. 257p.

Moraes, E. C., Florenzano, T. G., Uso escolar do Sensoriamento Remoto no estudo do meio ambiente: curso de capacitação de professores do ensino fundamental e médio. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 12., 2005, Goiânia. **Anais XII SBSR**, Artigos, p. 1321-1327.

Thornton, K.W., Limmel, B.L., Payne F.E. **Reservoir limnology: Ecological perspectives**. John Willey & Sons, Inc., Somerset, New Jersey, 1990. 246p.