

Monitoramento do desenvolvimento de macrófitas aquáticas em laboratório por meio de imagens digitais

Felipe Aparecido Gabriel de Miranda¹

Diego Marques da Silva Brito²

Jéferson Luiz Ferrari³

Atanásio Alves do Amaral⁴

Bruno de Lima Preto⁵

Resumo

Esse trabalho teve como objetivo avaliar a precisão e a acurácia do processamento de imagens digitais terrestres no monitoramento do desenvolvimento da macrófita aquática *Lemna* sp. Cerca de 1.281 plantas de *lemna* foram distribuídas em três delimitadores de área, no interior de um tanque de piscicultura, e tiveram seu desenvolvimento monitorado durante quinze dias consecutivos, por meio de imagens digitais capturadas em nível terrestre, com uma câmera digital Samsung, sensor 1/2,3", CCD com 12,3 megapíxels. As imagens digitais foram processadas em Sistema de Informação Geográfica, sendo utilizado como classificador digital o método da máxima verossimilhança. A avaliação da precisão foi realizada pela comparação das áreas mapeadas e a acurácia por meio do nível de reconhecimento dos pixels classificados. Os resultados revelam o potencial da técnica no monitoramento diário do desenvolvimento e da distribuição espacial da macrófita. Acrescenta-se que a técnica, além de ser de fácil realização, não afeta o desenvolvimento das plantas.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto terrestre. Processamento de imagens. Técnicas de medição. Ecologia aquática.

1 Introdução

As *lemnas* são plantas aquáticas de pequeno porte, que apresentam rápido desenvolvimento. São conhecidas popularmente como “lentilhas d’água”, *duckweeds* (erva-de-pato), ou somente “*lemnas*”. Ocorrem em diversas regiões do mundo, sendo abundantes na região do Pantanal (POTT, 1993).

As *lemnas* apresentam um importante papel nas cadeias tróficas aquáticas, servindo de alimento para diversos peixes, aves e outros organismos, além de atuar como refúgio e substrato para muitas espécies e agir como descontaminadoras dos ambientes aquáticos. Devido ao seu alto valor nutricional e rápido crescimento, pesquisas têm sido realizadas visando à produção comercial. França et al. (2009) obtiveram resultados satisfatórios na utilização de excremento de aves na produção de

¹Graduando do Curso de Tecnologia em Aquicultura do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, *Campus* de Alegre, Alegre (ES), Brasil. E-mail: fgabmir@gmail.com. Tel.: (28) 9222-2192. Rodovia BR 482, Sentido Alegre x Cachoeiro do Itapemirim, km 11, Distrito de Rive, CEP 29520-000, Alegre (ES), Caixa Postal 47.

²Graduando do Curso de Tecnologia em Aquicultura do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, *Campus* de Alegre, Alegre (ES), Brasil. E-mail: diegomsbrito@gmail.com. Tel.: (28) 8121-8735. Rodovia BR 482, Sentido Alegre x Cachoeiro do Itapemirim, km 11, Distrito de Rive, CEP 29520-000, Alegre (ES), Caixa Postal 47.

³D. Sc. em Produção Vegetal, Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, *Campus* de Alegre, Alegre (ES), Brasil. E-mail: ferrarijl@ifes.edu.br. Tel.: (28) 9277-7759. Rodovia BR 482, Sentido Alegre x Cachoeiro do Itapemirim, km 11, Distrito de Rive, CEP 29520-000, Alegre (ES), Caixa Postal 47.

⁴D. Sc. em Aquicultura, Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, *Campus* de Alegre, Alegre (ES), Brasil. E-mail: atanasio@ifes.edu.br. Tel.: (28) 92521763. Rodovia BR 482, Sentido Alegre x Cachoeiro do Itapemirim, km 11, Distrito de Rive, CEP 29520-000, Alegre (ES), Caixa Postal 47.

⁵D. Sc. em Aquicultura, Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, *Campus* de Alegre, Alegre (ES), Brasil. E-mail: blpreto@ifes.edu.br. Tel.: (28) 9277-6974. Rodovia BR 482, Sentido Alegre x Cachoeiro do Itapemirim, km 11, Distrito de Rive, CEP 29520-000, Alegre (ES), Caixa Postal 47.

Lemna valdiviana e concluíram que as diferentes quantidades utilizadas influenciam na composição químico-bromatológica da planta.

Tavares (2004), Palafox et al. (2005) e Graeff et al. (2007) alcançaram bons resultados com a inclusão da lemna na alimentação de peixes, mostrando que o cultivo desta pode ser uma alternativa para a redução do custo com ração nos sistemas produtivos.

O estudo ecológico dessas espécies pode ser facilitado pelo uso de técnicas de sensoriamento remoto que, segundo Florenzano (2007), é a arte de obtenção de dados da superfície terrestre por meio da captação, registro e análise da radiação eletromagnética, sem que haja o contato.

Na literatura científica relacionada à ecologia aquática tem-se notado o emprego do sensoriamento remoto em diversos trabalhos. Essa técnica é eficiente na determinação da evolução de matas ciliares, no monitoramento da dispersão e da infestação de macrófitas aquáticas em reservatórios (REMPEL, 2000; GALO et al. 2002; CRUZ; GALO, 2005), na caracterização e no mapeamento das águas (RUDORFF, 2006; TRENTIN, 2009; CORAZZA, 2010) e no estudo da erosão marginal de rios (SILVA; NEVES; NEVES, 2008).

Para o uso do sensoriamento remoto ser recomendado é necessário que se conheça a precisão e a acurácia das informações geradas. A precisão mostra o quanto a área da classe de interesse reflete a verdade de campo, enquanto a acurácia refere-se ao posicionamento da distribuição espacial da classe no mapeamento (MOREIRA, 2009). Estes dois parâmetros tornam o mapeamento preciso e exato, ou preciso e pouco exato, ou ainda pouco preciso e exato.

Este trabalho teve o objetivo de avaliar a precisão e a acurácia do processamento de imagens digitais terrestres no monitoramento do desenvolvimento da macrófita aquática *Lemna* sp.

2 Material e métodos

O estudo foi desenvolvido na Seção de Aquicultura do Instituto Federal do Espírito Santo, *Campus* de Alegre, município de Alegre (ES), Brasil, com altitude de 110 m, localizado, segundo o sistema de referência SIRGAS 2000, sob as coordenadas geográficas 20° 45' 30" S e 41° 27' 23" W.

O experimento foi realizado no período de 26 de abril a 10 de maio de 2012, com o início marcado pelo povoamento das lemnas. Para o povoamento, utilizou-se um recipiente quadrangular com dimensões 0,07 m x 0,07 m (0,0049 m²), contendo 427 plantas (0,054 ± 0,005g de massa seca). As plantas foram colocadas em três delimitadores de área, correspondentes a três repetições, no interior de um tanque de piscicultura. Os delimitadores, de formato quadrangular, com dimensões 0,42 m x 0,42 m (0,1764 m²), foram construídos com canos e conexões de PVC de ¾", possibilitando a flutuação. Para proteger a unidade experimental do ataque de peixes e de outros agentes externos, os delimitadores de área foram instalados dentro de um *happa* de 5 m x 2 m x 1 m inserido no tanque.

O monitoramento do desenvolvimento das plantas foi realizado durante quinze dias consecutivos, por meio de imagens digitais capturadas com uma câmera digital Samsung, sensor 1/2,3", CCD com 12,3 megapíxels. As imagens foram capturadas sempre na mesma distância vertical (0,80 m) e no mesmo horário (9 h e 30 min) visando garantir, respectivamente, a mesma distância focal e condições de luminosidade.

O processamento das imagens foi realizado com o auxílio do programa computacional SPRING (CÂMARA, 1996), versão 5.1.6, sendo utilizado como classificador digital o algoritmo de maxiverossimilhança. A acurácia das classificações foi realizada com base nos valores médios encontrados de Desempenho Geral (Equação 1) e de índices Kappa (Equação 2) fornecidos pelo programa após a geração das matrizes de erros (Tabela 1).

Tabela 1 - Modelo da matriz de erro utilizada para a aferição da acurácia temática.

Dados da classificação	Matriz 2 x 2		Dados de referência	
	Classes	Lemna	Não-Lemna	Soma das linhas
	Lemna	n_{11}	n_{12}	n_{1+}
	Não-Lemna	n_{21}	n_{22}	n_{2+}
Soma de colunas	n_{+1}	n_{+2}	N	

Fonte: Adaptado de Congalton e Green (2009)

$$\text{Desempenho Geral (DG)} = \frac{\sum_{i=1}^k n_{ij}}{N} \quad (\text{Eq. 1})$$

$$\text{Índice Kappa (K)} = \frac{\sum_{i=1}^k n_{ii} - \sum_{i=1}^k n_{i+} + n_{+i}}{n^2 - \sum_{i=1}^k n_{i+} + n_{+i}} \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que: n_{ij} = número de observações na linha i e coluna j ; n_{i+} e n_{+i} = totais marginais da linha i e da coluna j , respectivamente; N = número total de unidades amostrais contempladas pela matriz.

O Desempenho Geral indica a exatidão global do mapeamento e é calculado dividindo-se a soma da diagonal principal da matriz de erros pelo número total de amostras coletadas N .

O valor do índice Kappa (K) varia entre 0 e 1, sendo que o valor 1 representa uma completa concordância entre a imagem classificada e o dado de referência. Os valores encontrados foram utilizados para avaliar o mapa temático resultante da classificação. Os intervalos de aceitação utilizados nesse trabalho foram desenvolvidos por Landis e Koch (1977) e são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Intervalos de aceitação para avaliar a qualidade da classificação.

Índice Kappa (K)	Qualidade da classificação
0,0	Péssima
0,0 - 0,2	Ruim
0,2 - 0,4	Razoável
0,4 - 0,6	Boa
0,6 - 0,8	Muito boa
0,8 - 1,0	Excelente

Fonte: Adaptado de Landis e Koch (1977)

A avaliação da precisão das classificações foi realizada por meio da comparação das áreas mapeadas inicial (0,0049 m², referente à área do recipiente ocupada pela lemna por ocasião do povoamento) e final (0,1764 m², referente à área total ocupada pela lemna em cada delimitador), resultando nos erros de inclusão (EI) e erros de omissão (EO), conforme Moreira (2009).

O fluxograma contendo as operações envolvidas no processo da classificação das imagens digitais encontra-se na Figura 1.

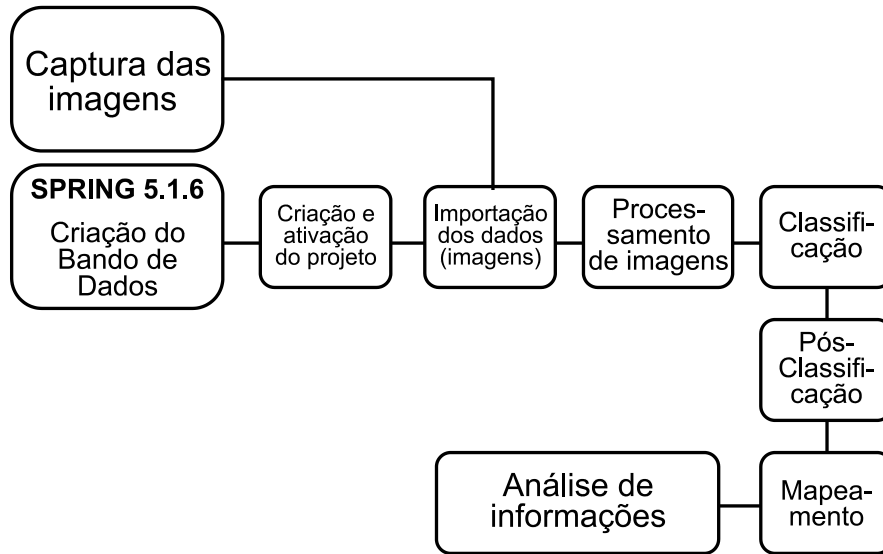


Figura 1 - Fluxograma mostrando a sequência dos procedimentos usados no processamento das imagens.

Fonte: Elaboração dos autores

3 Resultados e discussão

Na Figura 2 são apresentados os resultados temáticos referentes às classificações por verossimilhança das imagens digitais capturadas durante os quinze dias de observação.

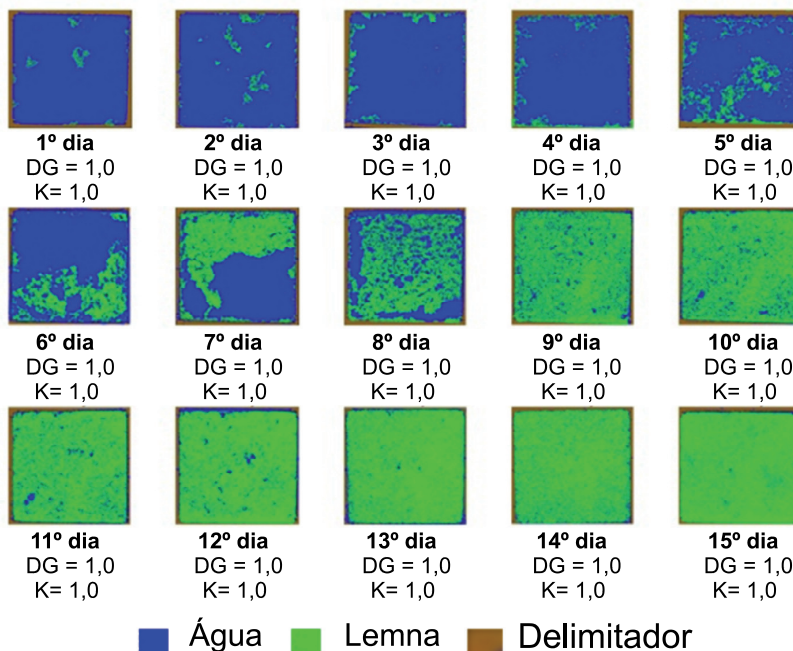


Figura 2 – Resultados médios dos desempenhos gerais e dos índices Kappa e mapas temáticos das classificações das imagens digitais.

Nota: DG = Desempenho geral e K = Índice Kappa

Fonte: Elaboração dos autores

A rotina de processamento orientado às imagens digitais, desenvolvida na plataforma SPRING 5.1.6, permite a geração de soluções em computação gráfica com extrema facilidade. Nota-se que a solução computacional apresentou classificação excelente (LANDIS; KOCH, 1977) para todos os dias de observação, com valores de índices Kappa superiores a 0,9 e desempenho geral também acima de 0,9. Os índices médios de Kappa encontrados revelam que os erros médios provenientes do processamento das imagens são muito baixos ($\approx 0,06$).

Os resultados relacionados à precisão dos processamentos digitais são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultados da precisão das classificações digitais das imagens.

Tempo	Área (m ²)		Erros (m ²)	
	Medida	Classificada	EI	EO
Inicial (1.º dia)	0,0049	0,0054	$5,0 \times 10^{-4}$	-
Final (15.º dia)	0,1764	0,1689	-	$7,5 \times 10^{-3}$

Fonte: Elaboração dos autores

A comparação das áreas medidas e classificadas, nos momentos inicial e final do experimento, revela pequenos erros médios (4×10^{-3} m²), indicando elevada precisão. Entretanto houve diferenças quanto ao tipo de discrepância encontrada. Os processamentos das imagens revelaram para o primeiro dia, erro de inclusão de $5,0 \times 10^{-4}$ m² e para o 15º dia, erro de omissão de $7,5 \times 10^{-3}$ m².

Os resultados de acurácia e de precisão indicam que a análise de imagens digitais terrestres constitui uma ferramenta útil para estudar o desenvolvimento de plantas aquáticas. Acrescenta-se também a possibilidade de avaliação de populações de plantas e da distribuição espacial destas por unidade de área, componentes importantes para o manejo da produção de qualquer cultura.

O desenvolvimento da *Lemna sp.* durante o período de monitoramento é mostrado na Figura 3.

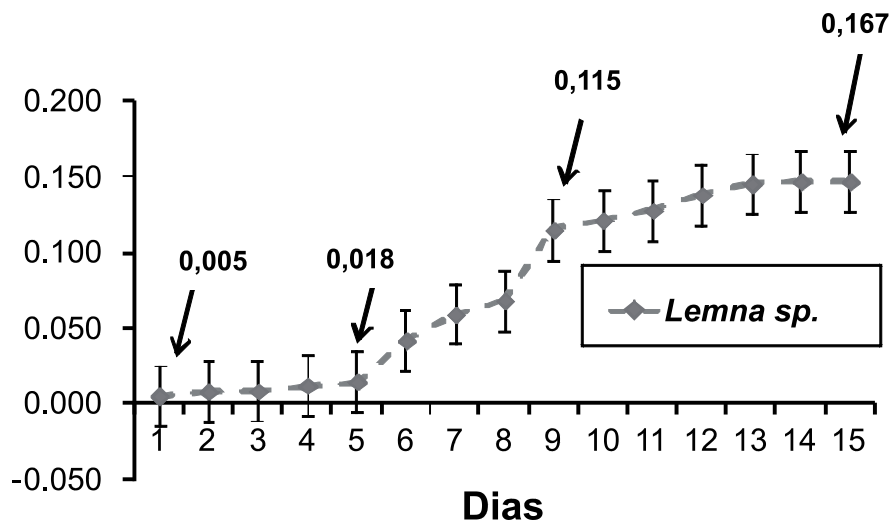


Figura 3 - Desenvolvimento da *Lemna sp.* durante os quinze dias de monitoramento.

Fonte: Elaboração dos autores

O rápido crescimento observado está de acordo com França et al. (2009). Segundo este autor, as lemnas são vegetais que apresentam crescimento rápido e vigoroso, enquanto existir espaço e condições adequadas, podendo dobrar a biomassa em dois ou três dias, quando encontram condições ideais de luminosidade, temperatura e nutrientes. Normalmente uma planta gera vinte outros indivíduos e, em condições controladas, pode chegar a produzir quatro toneladas de massa fresca por hectare por dia (CULLEY; MYERS, 1980; MBAGWU; ADENIJI, 1988).

A lemna apresentou padrão de crescimento sigmoide (ODUM; BARRETT, 2008), com destacável crescimento entre o quinto e o nono dia de observação (Figuras 2 e 3). A taxa de cobertura média diária encontrada nesse período foi de $0,019 \text{ m}^2 \text{ dia}^{-1}$, cerca de 1,76 vezes maior que a taxa de cobertura média diária encontrada em todo o período ($0,011 \text{ m}^2 \text{ dia}^{-1}$). Se considerarmos que, no início do experimento, as 427 plantas de lemna ocupavam uma área de $0,005 \text{ m}^2$ e apresentavam massa seca de $0,054 \pm 0,005 \text{ g}$, estima-se que o *stand* final foi de 15.065 plantas por delimitador, o que representa 1,905 g de massa seca.

A discreta redução da área observada entre o décimo quarto e o décimo quinto dia pode estar relacionada à morte de algumas plantas. Segundo França et al. (2009) fatores como densidade excessiva, falta de nutrientes no meio, valores extremos de pH e competição entre as plantas podem reduzir o crescimento da lemna ou causar mortalidade. Acredita-se que a alta densidade tenha sido o principal fator limitante para o desenvolvimento da lemna, nos dois últimos dias do experimento, uma vez que o viveiro é um ambiente com renovação de água constante, não apresentando grandes variações nos parâmetros físico-químicos da água e nas concentrações de nutrientes.

4 Conclusão

Os resultados revelam o potencial da técnica para o monitoramento diário do desenvolvimento e da distribuição espacial de macrófitas. Trata-se de uma técnica de fácil aplicação, que não afeta o desenvolvimento das plantas.

Monitoring of the development of macrophytes in laboratory by means of digital images

Abstract

This study aimed to evaluate the precision and accuracy of the processing of terrestrial digital images in the monitoring of the aquatic macrophyte *Lemna* sp. development. Approximately 1.281 lemna plants were divided in three delimiters in a tank of fish farming, and had their development monitored for fifteen consecutive days. Digital images were captured on terrestrial level with a Samsung digital camera, sensor 1/2,3", CCD 12.3 megapixels. The digital images were processed in Geographic Information System; the method of the maximum likelihood was used as the classifier. The accuracy assessment was performed by comparing the mapped areas and accuracy through the recognition level of the classified pixels. The results show the potential of the technique in daily monitoring of the development and spatial distribution of macrophytes. The method, besides being easy to perform, does not affect the plant development.

Key words: Terrestrial remote sensing. Image processing. Measurement techniques. Aquatic ecology.

5 Referências bibliográficas

CÂMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; FREITAS, U. M.; GARRIDO, J. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computers & Graphics**. v. 20, n. 3, p. 395-403, maio-jun. 1996.

CONGALTON, R. G.; GREEN, K. **Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices**. New York: Lewis Publishers, 1998. 137 p.

CORAZZA, R. **Relação entre as variáveis espectrais e limnológicas no reservatório da usina hidrelétrica Dona Francisca-RS**. 2010. 91 f. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

CRUZ, N. C.; GALO, M. L. B. T. Mapeamento das infestações por plantas aquáticas em reservatórios utilizando imagens multiescala e redes neurais artificiais. **Revista Brasileira de Cartografia**, São Paulo, v. 2, n. 57, 2005.

CULLEY, D. D.; MYERS, R. W. Effect of harvest rate on duckweeds yield and nutrient extraction dairy waste lagoon. In: D. D. Culley and J. B. Frye (eds.) **U.S. Department of Energy Final Report**. School of Forestry and Wildlife Management, Louisiana state University: Baton Rouge, 1980, 6 p.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em sensoriamento remoto**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2007, 101 p.

FRANÇA, G. M. O. ; MELO FILHO, J. F.; PEREIRA, C. M.; FARIA, G. A.; MELO, F. V. S. T.; SANTOS, J. G. Valor nutricional de *Lemna valdiviana* Phil (Araceae) submetida a diferentes concentrações de fertilização com excremento de aves. **Biotemas**, v. 22, n. 3, p. 19-26, 2009.

GALO, M. L. B. T.; VELINI, E. D.; TRINDADE M. L. B.; SANTOS, S. C. A. Uso do sensoriamento remoto orbital no monitoramento da dispersão de macrófitas nos reservatórios do Complexo Tietê. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 20, p. 7-20. 2002. (Edição Especial).

GRAEFF, A.; VIANNA, A. G.; TONETTA, D.; PRUNER, E. N. Avaliação do potencial nutritivo da Macrófita aquática *Lemna minor*, por meio da análise da composição química e por sua utilização em ração para carpa comum (*Cyprinus carpio* L.) na fase de recria. **Revista Evidência**, Joaçaba, v. 7, n. 1, p. 37-50, 2007.

LANDIS, J.; KOCH, G. G. The measurements of agreement for categorical data. **Biometrics**, Washington, v. 33, n. 3, p. 159-179, 1977.

MBAGWU, L.; ADENIJI, H. A. Nutritional content of duckweed (*Lemna* sp paucicostata) in the Kainji lake area. **Aquatic Botany**, Nigéria, v. 29, p. 357-366, 1988.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 4. ed. Viçosa (MG): UFV, 2009. 320 p.

ODUM, E. P.; BARRETT, G. W. **Fundamentos de Ecologia**. 5. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2008.

PALAFIX, P. J. T.; TOUSSAINT, F. I.; SALAS, G. R.; CRUZ, O. R.; CUTINO, O. E. Perspectivas de la *Lemna* sp. para la alimentación de peces. **Revista Eletrônica de Veterinária**, Espanha, v. 6, n. 3, p. 3-5, 2005.

POTT, V. J. **A família Lemnaceae S. F. Gray no Pantanal (Mato Grosso e Mato Grosso do Sul), Brasil**. 1993. 200 f. Dissertação. (Mestrado em Botânica) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1993.

REMPEL, C. **Aplicação do sensoriamento remoto para determinação da evolução da mata nativa da bacia hidrográfica do Rio Forqueta – RS, entre 1985 e 1995**. 2000. 85 f. Dissertação. (Mestrado em Sensoriamento Remoto), Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2000.

RUDORFF, C. M. **Estudo da composição das águas da planície amazônica por meio de dados de reflectância do sensor hyperion/eo-1 e de espectrômetro de campo visando à compreensão da variação temporal dos seus constituintes opticamente ativos.** 2006. 140 f. Dissertação. (Mestrado em Sensoriamento Remoto), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2006.

SILVA, A.; NEVES, S. M. A. S.; NEVES, R. J. Sensoriamento remoto aplicado ao estudo da erosão marginal do rio Paraguai: bairro São Miguel em Cáceres (MT). **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 2, p. 19-27, n. 3. 2008.

TAVARES, F. A. **Eficiência da *Lemna* sp. no tratamento de efluentes de suinocultura e sua utilização como fonte alternativa de alimento para tilápia.** 2004. 86 f. Dissertação. (Mestrado em Aquicultura), Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.

TRENTIN, A. B. **Sensoriamento remoto aplicado ao estudo do comportamento espectral da água no reservatório Passo Real – RS.** 2009. 98 f. Dissertação. (Mestrado em Geografia), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

Histórico

Recebido em: 02/01/2013

Aceito em: 03/02/2014