

ALTERAÇÕES ESPECTRAIS NAS IMAGENS DE SATÉLITE NOS RESERVATÓRIOS DAS USINAS HIDRELÉTRICAS CAÇU E BARRA DOS COQUEIROS – GO

Flávio Wachholz
Universidade Federal de Goiás
fwalemao@gmail.com

EIXO TEMÁTICO: GEOGRAFIA FÍSICA E GEOTECNOLOGIAS

RESUMO: As usinas hidroelétricas são intervenções antrópicas no rio, que, juntamente, resulta num extenso reservatório para garantia de produção de energia. Nesse sentido, o presente trabalho teve a proposta de investigar as alterações espectrais nas imagens de satélite Landsat 5 TM em reservatórios de usinas hidrelétricas instaladas no rio Claro – Sudoeste Goiano e inferir sobre os constituintes opticamente ativos da água. Os reservatórios Caçu e Barra dos Coqueiros entraram em fase de enchimento em fevereiro/março de 2010. As imagens de satélite convertidas para reflectância mostraram que os reservatórios apresentaram diferenças espectrais no eixo longitudinal do rio, com destaque à redução do albedo. Ocorrem, dessa forma, zonas espectrais que indicam a possível deposição de sólidos em suspensão.

Palavras-chave: Limnologia, reflectância, compartimentos aquáticos.

ABSTRACT: The hydropower plants are anthropogenic interventions in the river, which, together, resulting in a large reservoir to power output warranty. Accordingly, this work had the proposal to investigate the spectral changes in satellite images Landsat 5 TM in hydroelectric reservoirs installed in the Claro River localized in Goiás (Southwest in the State) and infer into the optically water constituents. Caçu and Barra dos Coqueiros reservoirs entered into in filling stage of February/March 2010. The satellite images converted to reflectance have shown that shells have spectral differences in the longitudinal axis of the river, with emphasis on reducing the albedo. Thus, spectral zones which indicate the possible deposition of suspended solids in the reservoirs.

Keywords: Limnology, reflectance, aquatic compartments.

INTRODUÇÃO

A necessidade de atender a demanda de energia elétrica decorrente do crescimento econômico do Brasil, o governo tem construído várias usinas hidroelétricas (UHE's) e Pequenas Centrais Hidroelétricas (PCH's) nos rios. No passado, a maioria das usinas construídas apresentavam reservatórios de acumulação, que funcionavam para produção de energia, regularização do curso hídrico, e garantia de disponibilidade de água para os reservatórios localizados a jusante.

No entanto, esses reservatórios apresentavam uma imensa área alagada, que representava impactos sociais e ambientais muito elevados. Esses prejuízos tem diminuído com a instalação de usinas que operam no modo fio d'água. As usinas construídas a fio d'água mantêm armazenagem constante, com vazão defluente igual à afluyente (SILVA FILHO e CARNEIRO, 2004). Deve-se ressaltar que mesmo assim ocorre a formação de um reservatório.

Recentemente no rio Claro (afluyente do rio Paranaíba), sudoeste do estado de Goiás, foram construídas quatro usinas hidroelétricas à fio d'água. No sentido do rio, a Pequena Central Hidroelétrica (PCH)

Jataí e as UHE's Caçu, Barra dos Coqueiros, Foz do Rio Claro foram instaladas. A bacia hidrográfica do rio Claro apresenta uma área de 13.600 km². Destaca-se que o Cerrado, vegetação original da área, foi ocupado com a pecuária, e atualmente a vegetação também vem sendo substituída com o cultivo da soja e da cana-de-açúcar.

Os reservatórios inseridos nos rios, normalmente, conferem novos/diferentes tempos de residência e circulação da água nos compartimentos aquáticos formados. Essas variações espaciais nos reservatórios conferem zonas distintas ao reservatório: zona de rio, zona de transição e zona lacustre (KIMMEL et al, 1990; TUNDISI, 2007). As zonas longitudinais são alteradas com os pulsos de entrada de material e energia do reservatório, como a precipitação, o vento e a própria operação do reservatório (TUNDISI, 2007).

As forçantes externas e internas em um reservatório alteram a cor da água. A cor da água é proporcionada pelos constituintes opticamente ativos presentes nos ecossistemas aquáticos, tais como: sólidos em suspensão, fitoplâncton e matéria orgânica dissolvida. Essas variáveis são registradas por sensores remotos. Pereira Filho et al (2011) encontraram relação da clorofila *a* com a banda do verde do sensor Landsat 5 TM em águas do reservatório Passo Real no Rio Grande do Sul. Santos e Dubreuil (2009) conseguiram estimar material em suspensão pelas bandas vermelho e infravermelho próximo do sensor Landsat 5 TM para o reservatório do Manso no Mato Grosso. Rudorff et al (2007) identificaram relação entre os dados de sólidos em suspensão e clorofila *a* com os dados espectrais do sensor Hyperion/EO1 em águas amazônicas.

OBJETIVO

Verificar as alterações espectrais nas imagens de satélite Landsat 5 TM em dois reservatórios de usinas hidrelétricas (Caçu e Barra dos Coqueiros) que operam no modo fio d'água instaladas no rio Claro – Sudoeste Goiano e inferir sobre os constituintes opticamente ativos presentes na água.

METODOLOGIA

Para o desenvolvimento dessa investigação foram utilizadas imagens do sensor Landsat 5 TM da órbita/ponto 223/73. As imagens utilizadas compreenderam o período de abril 2010 a setembro de 2011, totalizando 16 cenas utilizáveis (Tabela 1). A cobertura de nuvens no período chuvoso prejudicou a obtenção de cenas.

Tabela 1 – Imagens de satélite Landsat TM5 órbita/ponto 223/73 disponíveis sem cobertura de nuvens na área dos reservatórios Caçu e Barra dos Coqueiros

Mês/	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Maio	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Ano												
2010				14/30		17	03	20	05/21			10
2011		12		17	03	04/20	22	07	08			

As imagens de satélite foram corrigidas (atenuadas) do efeito da atmosfera, através subtração do pixel escuro proposto por Chavez Jr (1988). Esse método consiste em verificar no histograma de frequência da imagem o nível digital que apresente um crescimento acelerado. Esse procedimento foi realizado para cada banda e o valor do nível digital foi subtraído. Posteriormente foram convertidas para reflectância no software ENVI 4.5 com a entrada de dado, a data da imagem e ângulo de elevação solar.

Na imagem de setembro/2011 foram obtidos os limites dos reservatórios Caçu e Barra dos Coqueiros pelo fatiamento da banda 5. O limite da fase rio definido com mesmo procedimento utilizando uma imagem de abril/2009. A partir do limite rio foi obtido o eixo principal, que foi utilizado para a definição de transectos nos dois reservatórios.

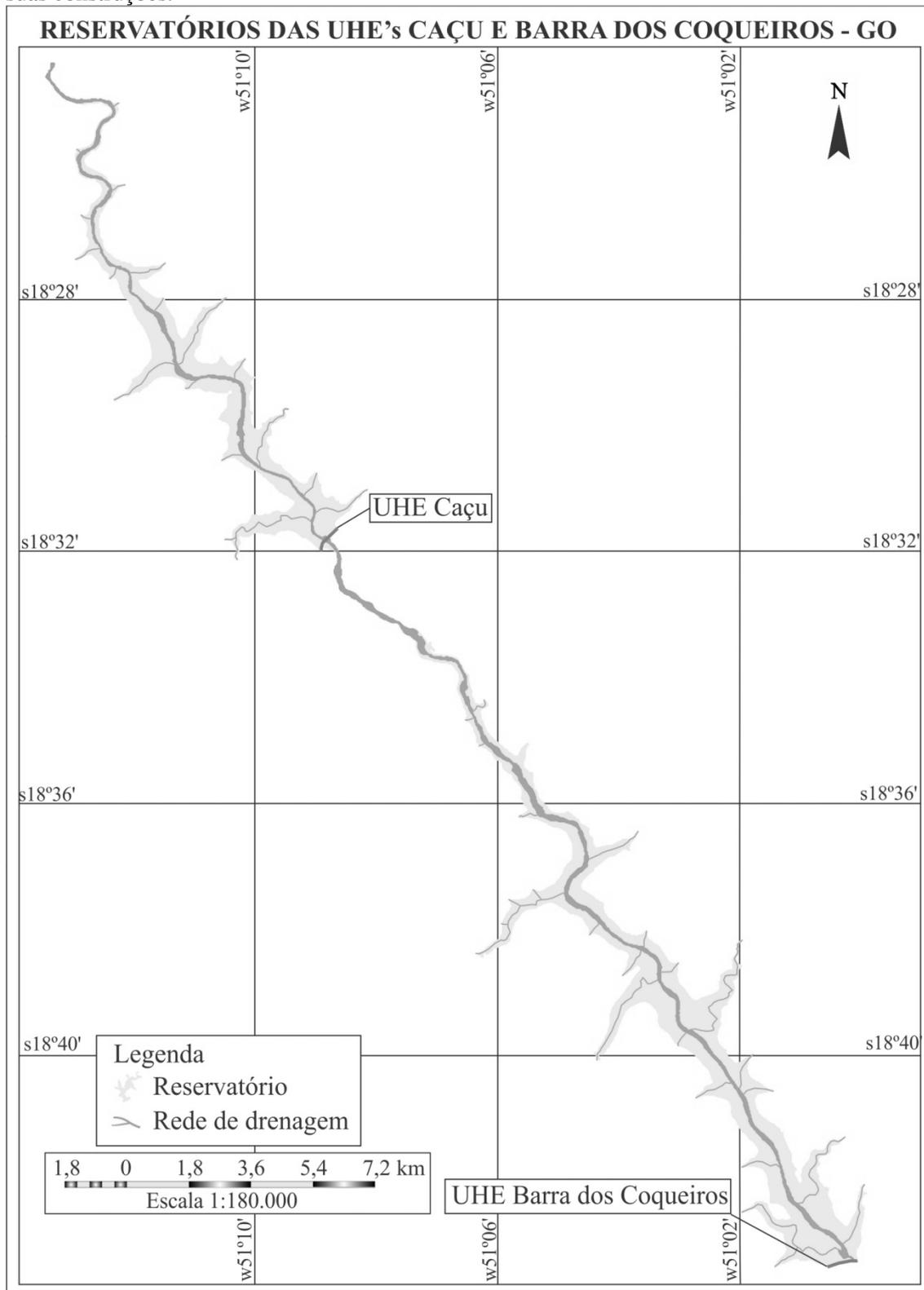
Os dados de reflectância foram tabulados e as estatísticas de média e correlação foram geradas com base no eixo principal, reservatórios e setores do mesmo. Os compartimentos aquáticos foram determinados a partir da visualização gráfica da mudança de crescimento/redução do albedo (WACHHOLZ et al, 2009).

RESULTADOS

Área alagada

Embora as represas a fio d'água geralmente produzem menor impacto dos reservatórios de acumulação, mesmo assim modificam os processos hidrodinâmicos do rio pelo tempo de retenção das águas. Conforme a área medida na imagem de satélite a área alagada de Caçu é de 14,09 km² e de Barra dos Coqueiros é de 24,11 km². As áreas alagadas para os dois reservatórios podem ser observadas na Figura 1. Antes do represamento o trecho rio do reservatório de Caçu ocupava 2,22 km² (15,7 %) e de Barra dos Coqueiros ocupava 3,95 km² (16,4 %). Tributários também foram alagados com a construção dos reservatórios (19 km com Caçu e 33 km com Barra dos Coqueiros). Além disso, as áreas agrícolas e de vegetação foram alagadas/afogadas, podendo ocorrer a degradação da qualidade da água.

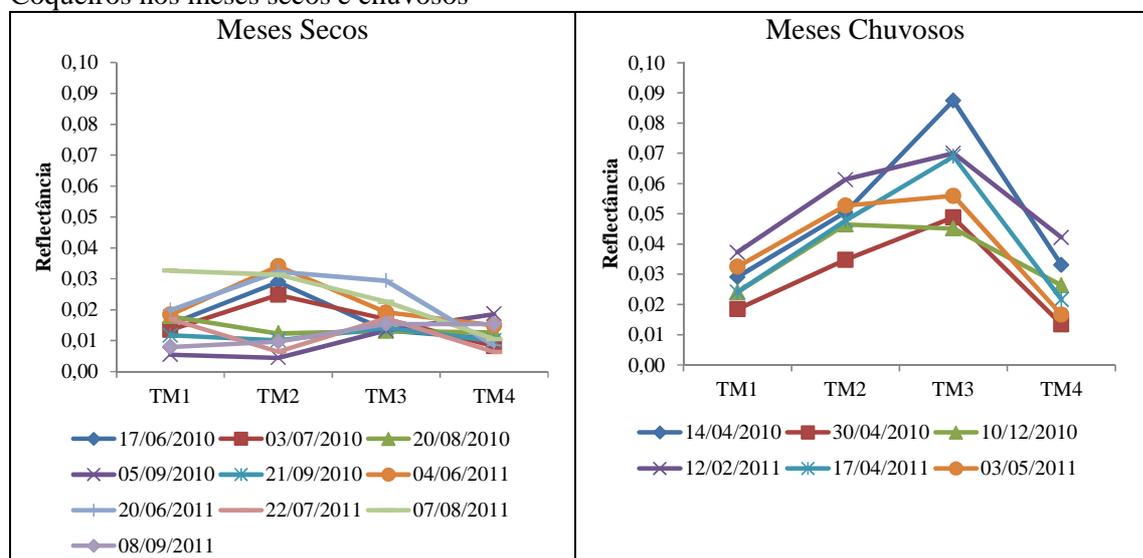
Figura 1 – Reservatórios das UHE's Caçu e Barra dos Coqueiros com rede de drenagem anterior às suas construções.



Espectros de reflectância

Os dados de reflectância oriundo das imagens de satélite mostrou um padrão distinto, associado os períodos seco e chuvoso (Figura 2). No período seco o albedo ficou abaixo de 3%, enquanto no período chuvoso ficou entre 3 a 9%. O aumento da reflectância no período chuvoso está relacionado com a maior concentração de sólidos em suspensão na água. Esse aumento da concentração é destacado pelo aumento da reflectância na banda do vermelho sobre as demais bandas espectrais. Em 14 de abril de 2010 a reflectância da banda do vermelho se sobressai, data que sucede ao enchimento dos reservatórios, ou seja, fase de estabilização do sistema. Os meses de julho a setembro apresentam uma reflectância mais constante associado a maior transparência da água.

Figura 2 – Espectros de reflectância do eixo principal dos reservatórios das UHE's Caçu e Barra dos Coqueiros nos meses secos e chuvosos



Nos meses de transição (chuvoso/seco), como em abril e maio foram observadas diferenças espectrais nos reservatórios que podem estar associados a maior presença de algas. Esse fato pode ser considerado, pois nesse período ocorre a maior radiação solar disponível na superfície (menor cobertura de nuvens) e ampliação do tempo de residência das águas. Portanto, ainda está presente uma maior concentração de nutrientes na coluna d'água (resultante da disponibilização durante o período chuvoso) necessária para o desenvolvimento de algas.

No período seco a transparência da água aumenta nos reservatórios, tanto pelo menor aporte de material quanto pela deposição no reservatório. O albedo de reflectância diminui consideravelmente nesse período, que indica a baixa concentração de constituintes opticamente nos reservatórios.

Perfil longitudinal do rio e reflectância

A média da reflectância do eixo principal dos reservatórios indicou a redução do albedo em Barra dos Coqueiros. Essa diferença foi de 15% para TM1, 25% para TM2, 29% para TM3 e 28% para TM4. A maior redução para as bandas do vermelho e do infravermelho próximo indicam a deposição de sólidos inorgânicos já no reservatório Caçu. O albedo de Barra dos Coqueiros foi maior somente em Abril 2010, sucessivo ao enchimento dos reservatórios, e, fevereiro e abril 2011 quando deve ter ocorrido um pulso de material (período chuvoso), associado a um curto tempo de retenção das águas.

A correlação da distância desde a entrada do rio no reservatório até o dique mostrou uma correlação negativa na maioria das datas analisadas (Tabela 2). Ou seja, está ocorrendo a redução da reflectância no sentido rio-barragem para quase todas as bandas multiespectrais. Isso indica a mudança das características da água, especialmente com a redução da concentração de sólidos em suspensão na zona eufótica.

Tabela 2 – Correlações entre perfil rio-barragem e o valor de reflectância na imagem de satélite

Datas	UHE Caçu				UHE Barra dos Coqueiros			
	TM1	TM2	TM3	TM4	TM1	TM2	TM3	TM4
14/04/2010	0,89	0,94	0,92	-0,12	0,75	0,77	0,72	0,21
30/04/2010	0,02	0,01	-0,75	-0,57	0,88	0,91	0,92	0,07
17/06/2010	-0,63	-0,78	-0,90	-0,47	-0,71	-0,81	-0,86	-0,70
03/07/2010	-0,72	-0,78	-0,90	-0,58	-0,75	-0,82	-0,83	-0,58
20/08/2010	0,29	-0,24	-0,32	-0,03	-0,35	-0,43	-0,62	-0,58
05/09/2010	-0,83	-0,94	-0,96	-0,52	-0,55	-0,71	-0,81	-0,54
21/09/2010	-0,46	-0,67	-0,73	-0,55	0,72	0,53	0,49	0,58
10/12/2010	-0,14	-0,40	-0,71	-0,56	-0,71	-0,92	-0,92	-0,54
12/02/2011	-0,12	-0,21	-0,78	-0,84	0,38	0,41	-0,50	-0,30
17/04/2011	0,88	0,90	0,81	-0,48	0,84	0,84	0,58	0,14
03/05/2011	-0,25	-0,09	-0,21	-0,41	-0,20	-0,08	-0,44	-0,66
04/06/2011	-0,47	-0,75	-0,92	-0,51	0,32	-0,31	-0,49	-0,21
20/06/2011	0,16	0,02	-0,71	-0,66	-0,80	-0,85	-0,85	-0,75
22/07/2011	-0,80	-0,87	-0,93	-0,74	-0,71	-0,84	-0,89	-0,70
07/08/2011	-0,74	-0,83	-0,90	-0,48	-0,49	-0,77	-0,85	-0,28
08/09/2011	-0,87	-0,91	-0,90	-0,82	-0,86	-0,86	-0,86	-0,83

Legenda: **0,9 a 1** – muito forte; **0,6 a 0,9** – forte; **0,3 a 0,6** – regular; **0 a 0,3** – fraca. Classificação segundo Andriotti (2003).

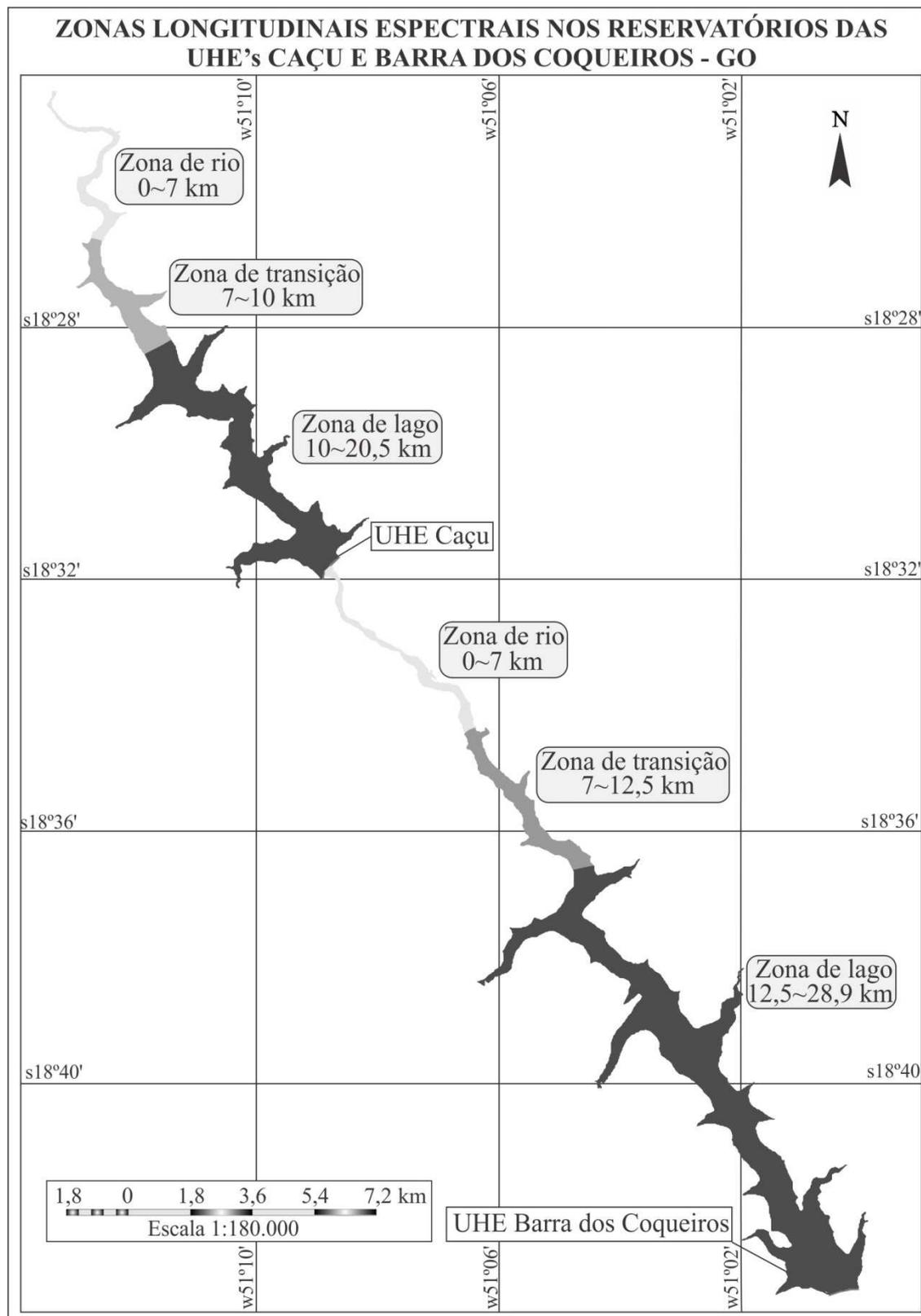
As maiores correlações são encontradas na banda do verde e do vermelho com o perfil rio-barragem. Isso indica que está ocorrendo deposição de material à medida que a água atinge o interior do reservatório. As correlações foram maiores para o reservatório da UHE Caçu. A água recebida pelo reservatório Barra dos Coqueiros diferencia-se pelo fato de ter passado pelos processos

hidrodinâmicos do reservatório de Caçu e isso pode contribuir para menor correlação, assim como tributários que possam estar influenciando no setor intermediário do reservatório.

Compartimentos aquáticos espectrais

Os compartimentos aquáticos espectrais encontrados nas imagens de satélite para os reservatórios das UHE's Caçu e Barra dos Coqueiros foram definidas como zona de rio, transição e Lago (Figura 3).

Figura 3 – Compartimentos aquáticos longitudinais dos reservatórios das UHE's Caçu e Barra dos Coqueiros



Esses compartimentos aquáticos são mais visíveis na banda do vermelho e eles ocorrem principalmente nos meses secos. A zona de rio é aquela com maior albedo de reflectância

provavelmente com a maior concentração de sólidos em suspensão. A zona de transição é quando ocorre a redução da reflectância, ou seja, quando ocorre a deposição do material suspenso. A zona de lago, a mais extensa, é em que a reflectância se mantém quase constante até a barragem. Esses compartimentos aquáticos podem apresentar o deslocamento de acordo com a vazão do canal principal e dos tributários do reservatório, assim como a operação do reservatório.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A redução do albedo de reflectância ocorre no sentido do rio-barragem, indicando a deposição do material suspenso para os reservatórios Caçu e Barra dos Coqueiros que são à fio d'água. A jusante do barramento de Caçu é um local de correnteza que apresenta uma maior reflectância na banda do vermelho nesse reservatório. Deve-se atentar ao aumento da velocidade da água nesse setor que pode causar a erosão das margens. O impacto notável com os dados de sensoriamento remoto é a redução da reflectância do vermelho que indica a deposição e nos meses de transição chuvoso/seco o aumento da reflectância na banda do verde que indica o maior desenvolvimento de algas. De fato, ainda devem ser vistas informações acerca das represas como a operação dos reservatórios, medidas limnológicas de subsuperfície e na coluna vertical até a zona afótica em diferentes setores dos reservatórios, a fim de confirmar os dados obtidos nas imagens multiespectrais.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de pós-doutorado e ao Prof. João Cabral pelas sugestões no trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRIOTTI, J. L. S. **Fundamentos de estatística e geoestatística**. São Leopoldo: Unisinos, 2003.
- CHAVEZ JR, P.S. **An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data**. Remote Sensing of Environment, n. 24, p. 459-479, 1988.
- KIMMEL, B. L.; LIND; O.T. PAULSON, J.L. **Reservoir Primary Production**. In: Reservoir Limnology: Ecological Perspectives. In: THORTON, K.W; KIMMEL, B.L.; PAYNE, F.E. New York: John Wiley and sons, 1990. p.133-193.
- PEREIRA FILHO, W; ET AL. **Relação entre clorofila a com perfil espectral e imagem de satélite no reservatório Passo Real – RS**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. Anais... São José dos Campos: INPE, 2011. p.5433-5440.

RUDORFF, C. M. et al . **Análise derivativa de dados hiperespectrais medidos em nível de campo e orbital para caracterizar a composição de águas opticamente complexas na Amazônia.** Acta Amazônica, Manaus, v. 37, n. 2, 2007 .

SANTOS, J. W. M. C.; DUBREUIL, V. **Estimativa da distribuição temporo-espacial de material em suspensão nas águas do reservatório de Manso-MT a partir de imagens Landsat e dados de campo.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. Anais... São José dos Campos: INPE, 2009. p. 5421-5428.

SILVA FILHO, D. da; CARNEIRO, A. A. F. M.. **Dimensionamento evolutivo de usinas hidroelétricas.** Sba Controle & Automação, Campinas, v. 15, n. 4, 2004.

TUNDISI, J. G. **Reservatórios como Sistemas Complexos.** In: HENRY, R. (Ed.) Ecologia de Reservatórios: Estrutura, Função e Aspectos Sociais. Botucatu, FUNDIBIO, 2007. p. 19-38.

WACHHOLZ, F.; PEREIRA FILHO, W.; PEREZ FILHO, A. **Compartimentação aquática espectral dos reservatórios em cascata no alto Jacuí – RS.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. Anais... São José dos Campos: INPE, 2009. p. 4929-4935.