



**Sensoriamento Remoto e Componentes Limnológicos na
Caracterização de Lagoas do Pantanal da Nhecolândia, Mato Grosso do Sul**
Remote Sensing and Limnological
Components for the Characterization of the Nhecolândia Pantanal Ponds

Ana Paula Garcia Oliveira¹; Jonas de Sousa Correa²; Maria Lúcia Ribeiro²;
Bruna Semler de Almeida²; Camila Leonardo Mioto³; Edilce do Amaral Albrez⁴,
Normandes Matos da Silva³ & Antonio Conceição Paranhos Filho²

¹Universidade de Guarulhos, Programa de Pós-graduação em Análise Geoambiental,
Praça Tereza Cristina, nº 88, Centro, 07023-070, Guarulhos, São Paulo, SP, Brasil.

²Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia,
Laboratório de Geoprocessamento para Aplicações Ambientais,
Unidade 7A, Cidade Universitária, s/n, 79070-900, Campo Grande, MS, Brasil.

³Universidade Federal de Mato Grosso, Campus Universitário de Rondonópolis,
Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Laboratório de Geoprocessamento,
MT 270 km 06, 78735-901, Sagrada Família, Rondonópolis, MT, Brasil.

⁴Universidade de São Paulo, Rua do Lago, 562, 05508-080, São Paulo, SP, Brasil.

Emails: apg.bio@gmail.com; jonas_agua@hotmail.com; lucia.ribeiro@ufms.br; semmler.bru@gmail.com;
ea.mioto@gmail.com; edilce.albrez@gmail.com; normandes@pq.cnpq.br; antonio.paranhos@pq.cnpq.br

Recebido em: 20/09/2017 Aprovado em: 18/10/2017

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2017_3_159_169

Resumo

A limnologia aplicada a pesquisas em áreas inundáveis vem crescendo no Brasil. Nesse sentido, esta pesquisa buscou associar dados de sensoriamento remoto e variáveis limnológicas obtidas em campo para distinguir as lagoas no Pantanal da Nhecolândia, região a qual apresenta um sistema lacustre vasto e variado, com lagoas do tipo baías e salinas. Foram coletadas 32 amostras distribuídas em 31 lagoas e um ponto no Rio Negro, ao longo de duas campanhas de campo realizadas em agosto/2012 e setembro/2013, no período de seca do Pantanal. As variáveis estudadas foram: salinidade total (PPT), pH, alcalinidade e dureza. Para a diferenciação das lagoas em baías e salinas, gerou-se um banco de dados em ambiente SIG (sistemas de informações geográficas), onde foram associadas as variáveis limnológicas obtidas à imagem do satélite ALOS, sensor AVNIR-2 (IBGE, 2008), na composição falsa-cor R4G2B3. Como resultados, das lagoas amostradas, 20 foram classificadas em baías e 11 em salinas. A utilização das imagens ALOS AVNIR-2 mostraram-se importantes para estudos relacionados à biodiversidade e conservação do Pantanal, por permitirem diferenciar sistemas lacustres no Pantanal e otimizar os trabalhos de campo, que costumam ser dispendiosos em termos de tempo e recursos financeiros.

Palavras-chave: sensoriamento remoto; baía; salina; limnologia

Abstract

The limnology applied to researches in flooding areas is growing in Brazil. Thus, this research aimed to associate remote sensing data and limnological variables obtained in field to distinguish the ponds in the Nhecolândia region in Pantanal, which presents a wide and varied lacustrine system with freshwater and salt ponds. 32 samples were collected, 31 in ponds and 1 in a spot on the Rio Negro, during two field campaigns conducted in August/2012 and September/2013 in the dry season in Pantanal. The studied variables were: Total salinity, Hydrogen Potential, alkalinity and hardness. For the differentiation of ponds in freshwater and salt, a database in GIS (geographic information systems) was generated, which were associated with the limnological variables obtained by satellite image ALOS, AVNIR-2 sensor (IBGE, 2008), false-color composition R4G2B3. As a result, of sampled ponds, 20 were classified as freshwater and 11 in salt. The use of ALOS-2 AVNIR images shown to be important for studies related to biodiversity and conservation of the Pantanal, for allowing to differentiate lake systems in the Pantanal and optimize field works, which are often costly in terms of time and financial resources.

Keywords: remote sensing; freshwater pond; salt pond; limnology

1 Introdução

Um dos campos mais importantes da Limnologia nos tempos atuais refere-se aos estudos em áreas úmidas ou alagáveis. Essas pesquisas possibilitam o conhecimento da estrutura e do funcionamento desses ecossistemas, viabilizando seu manejo e a maximização da sua produtividade (Esteves, 1998).

O Pantanal, considerado uma das maiores áreas úmidas do planeta, é constituído por um mosaico de habitats, que sustenta uma diversidade singular de espécies terrestres e aquáticas.

Um dos habitats que o forma é a sub-região da Nhecolândia, diferenciada das demais regiões principalmente por apresentar um grande número de corpos de água subcirculares, os quais apresentam variedade em termos de morfologia, hidrologia e grau de permanência. Além disso, tais corpos d'água apresentam características físico-químicas variadas, distinguindo-se em lagoas de água doce, denominadas de "baías", e em lagoas de água alcalina/salobra, conhecidas como "salinas" (Soriano *et al.*, 1997; Galvão *et al.*, 2003; Almeida *et al.*, 2009).

As baías são lagoas de água doce que recebem contribuição das águas superficiais e do lençol freático, podendo estar alinhadas e conectadas umas às outras e raramente secam completamente nas estiagens. Já as salinas, com água salobra, são depressões mais rebaixadas do que as baías, sendo mais rasas que as outras (Galvão *et al.*, 2003; Almeida *et al.*, 2009). Podem ser predominantemente circulares ou ovais e são isoladas da drenagem. As salinas dificilmente são atingidas por águas de inundação e apresentam uma faixa de areia sem vegetação em seu entorno.

Diversos autores tratam da identificação e diferenciação das lagoas da Nhecolândia. Costa *et al.* (2006) sugerem uma divisão baseada no valor do total de sólidos dissolvidos nas lagoas. Nessa divisão, tem-se "brackish", que corresponde às águas salobras, enquanto as águas doces teriam duas divisões: "hard" e "soft". Essa divisão de água doce é relevante, pois conforme a dureza da água, diferentes tipos de plantas aquáticas desenvolvem-se.

Já Eaton (2006) apresenta cinco tipos de baías na região com base na permanência de água, ligações hidrológicas e extensão do tipo de cobertura

de plantas aquáticas. Para um consenso em termos de classificação desses lagos, deve-se atribuir mais fatores como: o fluxo de cheias e secas do Pantanal como um todo, formação geológica e sua gênese, a qual ainda se desconhece.

A realização de estudos limnológicos nessa região contribui para a caracterização e para o entendimento da origem, evolução e funcionamento desse sistema lacustre tão peculiar. Assim, a associação de dados limnológicos com informações obtidas por sensoriamento remoto pode auxiliar na diferenciação da composição química das lagoas presentes na Nhecolândia, corroborando para o entendimento dos itens acima citados. Produtos derivados de sensores orbitais, como imagens de satélite, são estratégicos para a análise espacial de variáveis ambientais e podem agilizar o processamento de dados, que de outra forma demandariam muito tempo e esforço de campo (Cândido *et al.*, 2015).

Desse modo, esse trabalho teve como objetivo associar dados de sensoriamento remoto e variáveis limnológicas obtidas em campo para distinguir as lagoas do Pantanal da Nhecolândia, diferenciando-as em baías ou salinas.

2 Materiais e Métodos

2.1 Área de Estudo

A área de estudo compreende uma porção da Baixa Nhecolândia (Figura 1), localizada na Fazenda Barranco Alto, Município de Aquidauana, Mato Grosso do Sul, a cerca de 250 km da capital Campo Grande.

Ao todo foram visitados 32 locais de coleta (Figura 2), distribuídos em 31 lagoas e um ponto no Rio Negro, em duas campanhas de campo realizadas em agosto de 2012 e setembro de 2013, no período de seca. O trabalho de campo foi realizado nesse período, pois o volume de água nas lagoas é menor, o que facilita o acesso.

2.2 Parâmetros Físico-Químicos

Para a medição das variáveis salinidade total (PPT) e pH utilizou-se a sonda multiparamétrica Horiba U-50 a. A alcalinidade e dureza foram analisadas ainda no local de coleta, sendo utilizado

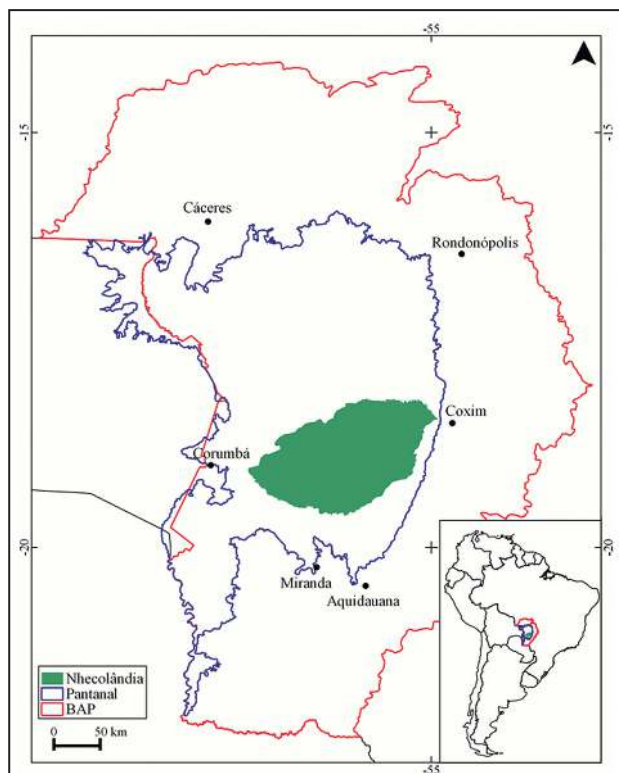


Figura 1 Localização do Pantanal da Nhecolândia. Em evidência tem-se a sub-região da Baixa Nhecolândia, onde se encontram as lagoas analisadas.

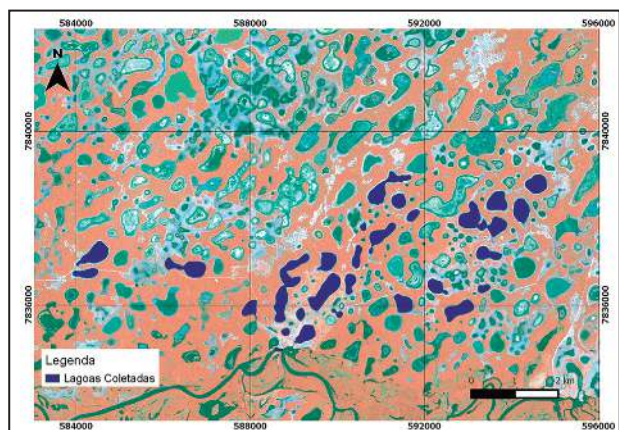


Figura 2 Pontos amostrados nas campanhas de 2012 e 2013. A imagem visualizada é a do satélite ALOS, sensor AVNIR-2 (IBGE, 2008) na composição falsa-cor R4G2B3.

para isso o método de determinação de alcalinidade total e dureza por titulação em campo baseado no *Standard Methods* (APHA, 2012).

Também foram analisados os parâmetros de concentração de magnésio (Mg), potássio (K), sódio (Na), cloro (Cl) e cálcio (Ca). Para isso, foram coletadas amostras de água das lagoas a partir de um balde de polietileno içado a uma corda, a fim de

permitir a menor perturbação possível. Essa coleta foi realizada em pontos aleatórios nas lagoas, em uma profundidade da superfície em torno de 40 cm. Para cada ponto amostrado, acondicionou-se a amostra em dois frascos de polietileno estéril de 1 l, os quais foram armazenados em caixa térmica para a preservação das amostras.

Posteriormente, no Laboratório de Qualidade Ambiental (LAQUA-UFMS), todo o material amostrado passou por um processo de análise, sendo a metodologia também fundamentada no *Standard Methods* (APHA, 2012). Preservou-se uma fração dessas amostras (valor de 250 ml) para a realização da espectrometria de absorção de chama (Spectraa-220FS).

2.3 Sensoriamento Remoto

A imagem utilizada para diferenciar as lagoas em baías e salinas consistiu na imagem do satélite ALOS, sensor AVNIR-2 (IBGE, 2008), a qual possui quatro bandas multiespectrais (no infravermelho próximo, azul, verde e vermelho – RGB). Optou-se pela utilização dessas imagens por possuírem resolução espacial de 10 m e resolução radiométrica de 8 bits, o que proporciona melhor identificação dos alvos estudados.

A diferenciação das lagoas baseou-se nos critérios definidos por interpretação visual de padrões da imagem, descritos na Tabela 1.

Salinas	Baías
Forma Circular	Forma elíptica
Borda com praia arenosa bem definida	Apresenta vegetação em todo o seu entorno e raramente faixa de areia. Quando presente não é tão nítida como a das salinas e é coberta por vegetação rasteira.
Não apresenta vegetação flutuante e apresenta cor homogênea	Frequente presença de macrófitas e na ausência de vegetação aquática, a água parece negra.
Geralmente localizadas em regiões isoladas das vazantes.	Geralmente localizada em grupos, comumente conectadas em forma de rosário acompanhando as vazantes.

Tabela 1 Características morfológicas e respostas espectrais de baías e salinas em imagens ALOS, AVNIR-2 (RGB 423).

Criou-se um banco de dados em ambiente SIG (sistema de informações geográficas), onde foram relacionadas as variáveis limnológicas obtidas e a

imagem do satélite ALOS, sensor AVNIR-2 (IBGE, 2008), na composição falsa-cor R4G2B3. Como base vetorial, utilizou-se os pontos de coleta em campo.

Em seguida, foi averiguado se as características morfológicas e respostas espectrais que definem baías e salinas por sensoriamento remoto estão de acordo com suas as descrições físico-químicas.

3 Resultados e Discussão

Na Figura 3 têm-se os 31 pontos onde foi realizada a coleta de água das lagoas e posterior análise dos parâmetros. Nos Quadros 2 e 3 são apresentados os resultados da análise dos parâmetros físico-químicos dos pontos amostrados em campo e que foram cruzados com a interpretação visual da imagem de satélite.

Das 31 lagoas pesquisadas, distinguiram-se 20 baías (lagoas hipossalinas) e 11 salinas (lagoas com água salobra).

Ao se comparar os valores das variáveis físico-químicas das baías (Figura 4) com o das salinas (Figura 5), observou-se que o pH nas baías se mostrou menos estável. Isso pode ser explicado ao correlacionar a estabilidade de seu pH com

os altos valores de alcalinidade das salinas, já que essa auxilia no processo por atuar como um tampão ao neutralizar ácidos. Além disso, as baías são susceptíveis às variações do freático, o que proporciona variabilidade maior do que nas salinas.

Cabe também acrescentar uma importante correlação entre as comunidades planctônicas e o pH, que interfere no ambiente que se torna ora mais propício ora menos propício à sobrevivência de certas espécies. Assim, os organismos alteram o pH da água, seja diminuindo-o na presença de intensas taxas de decomposição e respiração ou elevando-o por meio da fotossíntese (Almeida *et al.*, 2009).

Outro fator que deve ser citado como influência na instabilidade do pH nas baías é a diversidade de macrófitas, principalmente na sua superfície (exemplos são mostrados na Figura 6). Isso diminui a penetração de luz no corpo d'água, o que reduz oxigênio dissolvido e o pH, aumenta o CO₂ livre e inibe a produção do fitoplâncton, além de acelerar o processo de decomposição da matéria orgânica, conforme descrito por Steves (1998).

Pott *et al.* (1989) descreveram algumas espécies de macrófitas coletadas em lagoas da região, relacionando o tipo de solo, pH da água, nutrientes, ambiente lântico e a variação temporal da lâmina

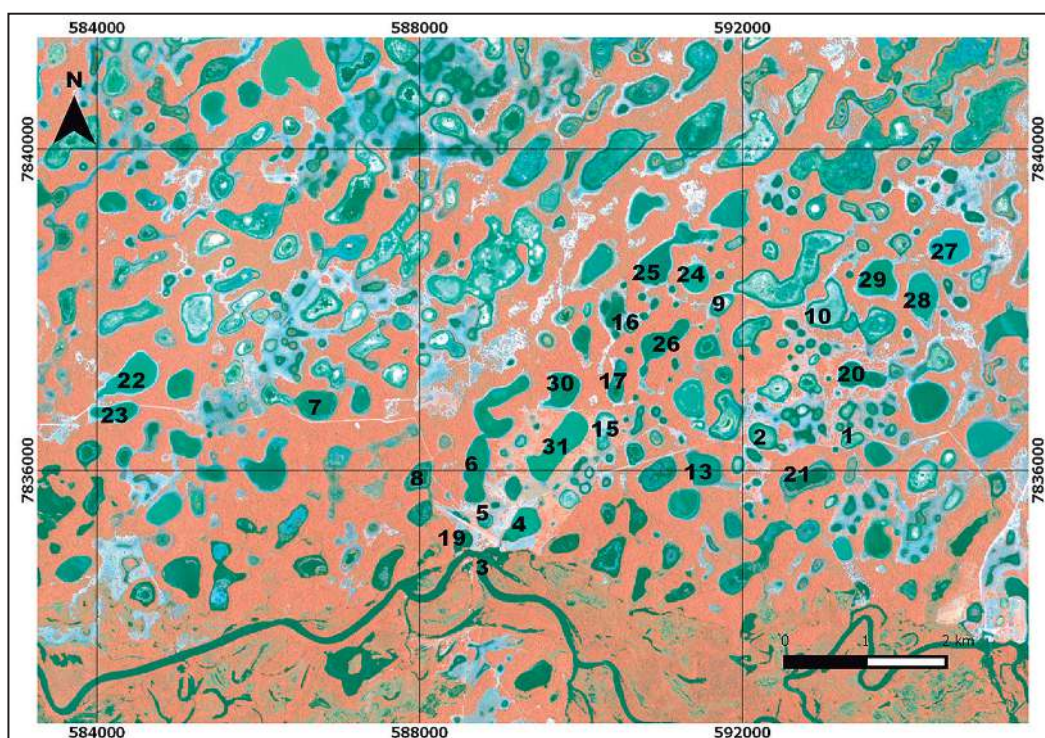


Figura 3
Lagoas amostradas e numeradas conforme os pontos presentes nas Tabelas 2 e 3.

Sensoriamento Remoto e Componentes Limnológicos na Caracterização de Lagoas do Pantanal da Nhecolândia, Mato Grosso do Sul
 Ana Paula Garcia Oliveira; Jonas de Sousa Correa; Maria Lúcia Ribeiro; Bruna Semler de Almeida;
 Camila Leonardo Miotto; Edilce do Amaral Albrez, Normandes Matos da Silva & Antonio Conceição Paranhos Filho

2012									
Baías	Alcalinidade	Dureza	Ph	Salinidade	Mg	K	Na	Cl	Ca
	mg/L	mg/L			mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
1	2,33	2,32	X	X	1,4	8,76	0	0,1	11,43
2	4,03	1,74	X	X	0,91	4,3	0	0,1	6,2
4	3,55	3,75	9,12	0	2,11	12,96	0	9,6	12,11
5	2,82	1,74	7,77	0	1,17	4,1	17,4	0,3	7,9
6	3,76	2,89	8,43	0	1,98	32,3	9	0,3	10,96
7	4,29	2,65	8,5	0	1,89	21,08	22,62	0,3	8,6
8	X	X	7,78	0	X	X	X	X	X
9	X	X	7,8	0	X	X	X	X	X
10	X	X	10,05	1,1	X	X	X	X	X
11	X	X	X	X	X	X	X	X	X
12	X	X	9,4	0,1	X	X	X	X	X
13	5,05	4,29	9,33	0	X	X	X	X	X
14	X	X	8,62	0	X	X	X	X	X
15	X	X	X	X	X	X	X	X	X
16	X	X	X	X	X	X	X	X	X
17	X	X	X	X	X	X	X	X	X
18	X	X	X	X	X	X	X	X	X
19	X	X	X	X	X	X	X	X	X
20	X	X	X	X	X	X	X	X	X
21	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Salinas	Alcalinidade	Dureza	Ph	Salinidade	Mg	K	Na	Cl	Ca
	mg/L	mg/L			mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
22	25,2	4,64	9	0,4	4,16	82,56	4493	9,6	27,3
23	30,66	3,56	9,4	0,2	3,43	100,5	1083	0,8	13,3
24	16,408	3,52	10,15	0,8	1,85	320	1398	14,5	21,67
25	16,408	3,56	9,15	0,2	2,72	61,59	6313	0,8	25,96
26	11,24	7,54	9,3	0	5,76	23,2	556	3,2	25,96
27	67,56	2,79	9,36	0,4	1,34	346	638	1,8	12,45
28	X	X	7,54	0	X	X	X	X	X
29	31,59	1,8	9,5	0,4	4,3	356,6	881	2,6	11,01
30	18,15	2,34	9,22	0,2	0,95	18,54	117,22	3,2	9,2
31	18,8	2,64	9,43	0,2	2,21	15,7	510	3	11,8
Rio Negro	Alcalinidade	Dureza	Ph	Salinidade	Mg	K	Na	Cl	Ca
	mg/L	mg/L			mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
3	1,27	1,49	7,7	0	0,94	3,12	0	0,2	5,98

Tabela 2 Parâmetros físico-químicos obtidos através de sonda e de análise em campo de baías e salinas no ano de 2012 (x= material não analisado).

2013									
Baías	Alcalinidade	Dureza	Ph	Salinidade	Mg	K	Na	Cl	Ca
	mg/L	mg/L			mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
1	X	X	9,05	0	1,04	0	2,275	1,9	3,85
2	0	X	7,57	0	2,88	3,25	16,825	2,9	9,5
4	5,25	X	7,15	0	3,1	5,15	6,675	1,7	6,25
5	5	X	7,37	0	5,45	6,62	16,15	3	2,4
6	X	X	X	X	<LDM	9,87	137	1,5	0,55
7	X	X	X	X	<LDM	1,92	0		1,1
8	1,7	X	7,6	0	3,61	3,65	1,45	X	3,25
9	X	X	7,6	0,1	2,58	13,55	28,625	1,3	2,15
10	X	X	X	X	X	X	X	X	X
11	X	X	X	X	X	X	X	X	X
12	5,2	X	9,12	0	4,6	2,4	10,775	1,7	4,35
13	X	X	X	X	X	X	X	X	X
14	1,75	X	8,8	0	4,87	1,27	8,25	1,5	1,05
15	0,4	X	6,64	0	4,92	14,42	8,95	1,9	2,6
16	0,9	X	6,85	0	2,46	3,52	29,27	4	0,65
17	0,4	X	6,83	0	1,92	34,02	1,6	X	1,85
18	X	X	X	X	0,66	13	44,975	1,4	1,15
19	X	X	9,34	0,1	0,66	13	44,97	1,4	1,15
20	2,7	X	7,4	0	0	0	0	X	0
21	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Salinas	Alcalinidade	Dureza	Ph	Salinidade	Mg	K	Na	Cl	Ca
	mg/L	mg/L			mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
22	X	X	9,55	0,4	<LDM	1,65	43	1,9	2,425
23	17	X	10,06	1,7	2,72	0,45	4,45	9	1
24	42	X	9,48	0,2	4,65	52,5	162,425	2,5	5,65
25	2,8	X	9,24	0,2	6,12	17,775	115,4	8,2	3,6
26	7,4	X	9,58	0,2	2,14	56,825	83,3	2,2	2,45
27	12,5	X	9,35	0,3	2,91	28,15	101,4	2,2	2,2
28	X	X	9,72	0,8	1,02	38,75	265,3	7,8	4
29	25,4	X	9,5	0,2	4,59	33,9	205,95	4,5	1,95
30	27,75	X	9,17	0,02	4,87	33,525	201,275	6,4	2,025
31	X	X	9,88	7,5	1,26	62,125	826,525	2,6	3,65
Rio Negro	Alcalinidade	Dureza	Ph	Salinidade	Mg	K	Na	Cl	Ca
	mg/L	mg/L			mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
3	3,75	X	8,98	0	4,31	11,625	13,175	1,5	2,15

Tabela 3 Parâmetros físico-químicos obtidos através de sonda e de análise em campo de baías e salinas no ano de 2013 (x= material não analisado).

Figura 4 Na imagem ALOS AVNIR-2 R4G2B3 (A) visualiza-se uma baía típica (unidade de coleta nº 08), com vegetação em sua borda e com presença de macrófitas na superfície. A resposta espectral da água se mistura com a da vegetação flutuante, com um aspecto de várias tonalidades. Em (B) tem-se a baía em campo, onde se nota a distribuição da vegetação na superfície da mesma.

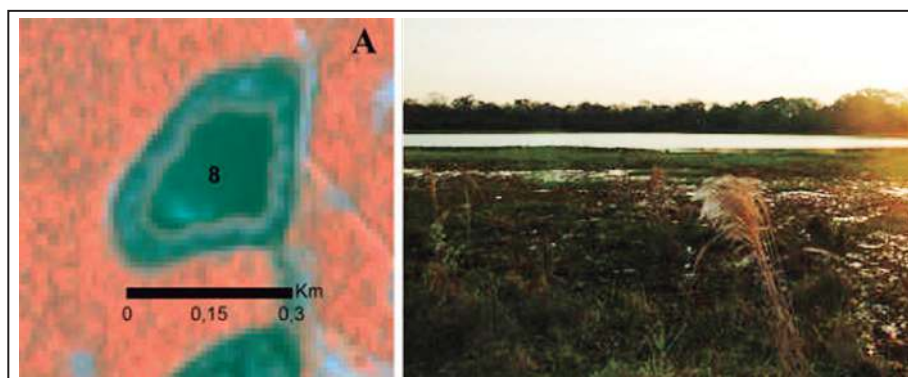


Figura 5 Na imagem ALOS AVNIR-2 R4G2B3 (A) indica-se uma salina (unidade de coleta nº 24) com a presença de faixa arenosa e com ausência de vegetação marginal. Destaca-se a borda devido à cor esbranquiçada da resposta espectral do solo exposto. A superfície da água aparece homogênea e esverdeada em consequência da abundância de algas. Ao lado (B) a mesma salina em campo.

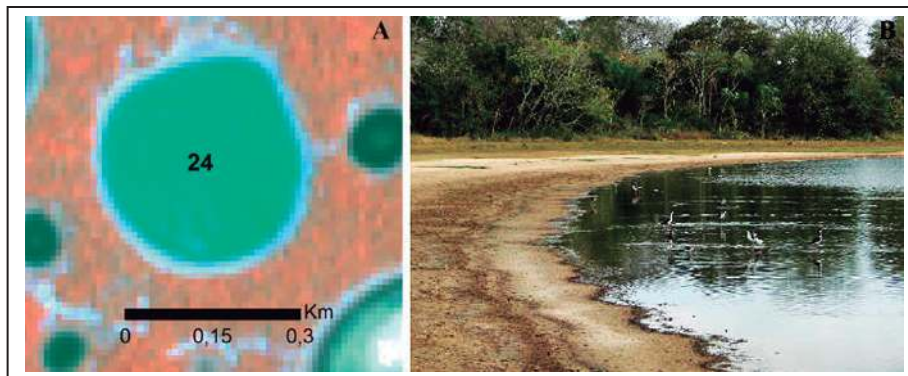


Figura 6 Registros fotográficos do trabalho de campo realizados em campanhas de 2012 e 2013. São apresentadas diferentes espécies de macrófitas encontradas nas lagoas visitadas, no caso, baías.

d'água com a ausência de inúmeras espécies aquáticas. Assim, remete-se ao fato de que há possibilidade de algumas espécies endêmicas de macrófitas suportarem a variação desses fatores limnológicos.

Correlacionando os dados obtidos através da imagem ALOS e os obtidos em campo, nota-se

que algumas lagoas identificadas na imagem como baías apresentaram pH acima da média, valor de salinidade expressivo e a presença de sódio em altas concentrações. Contudo, mesmo diante desses fatores físico-químicos, essas baías apresentam grande quantidade de macrófitas. Tais pontos (10 e 19) são ilustrados na Figura 7.

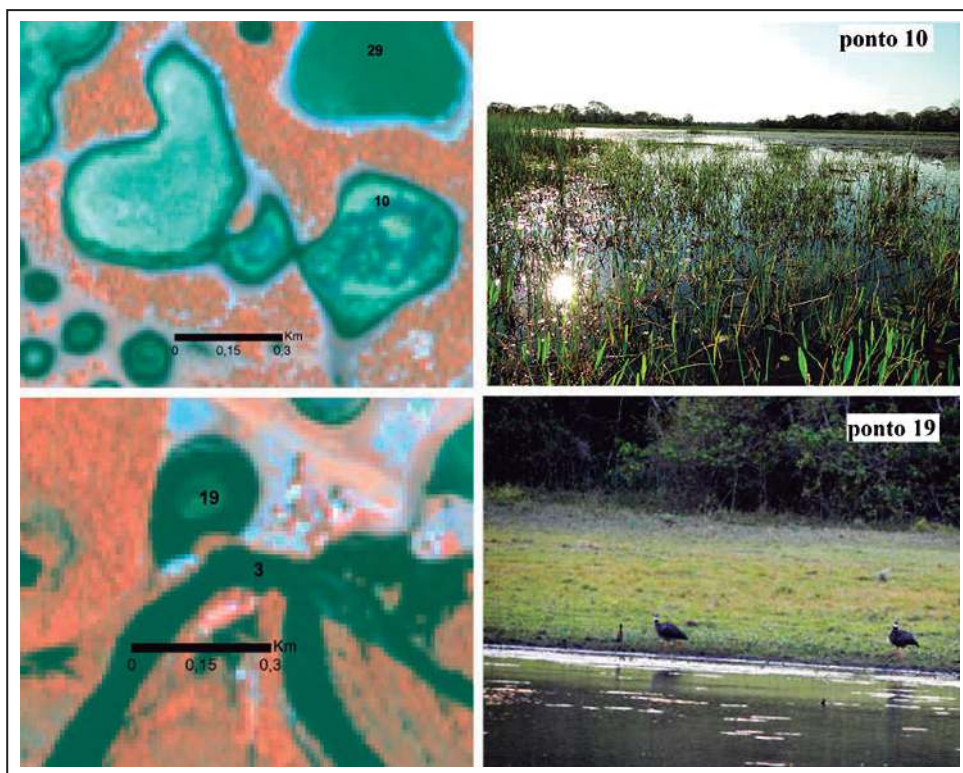


Figura 7
Imagem ALOS AVNIR-2 com as características espectrais dos pontos 10 e 19, à esquerda. À direita, suas respectivas fotografias de campo, onde se observa a presença de macrófitas e vegetação no entorno.

Casos como esses sugerem que há um nível intermediário entre baías e salinas que merece ser investigado a fundo, pois algumas características fogem do padrão de divisão “baías” e “salinas”. Quanto mais variáveis se acrescenta, mais detalhes particulares exibe cada lagoa.

Contudo, nesse trabalho constatou-se que as variáveis limnológicas com papel preponderante na distinção das lagoas em baías e salinas são o sódio, potássio, salinidade, alcalinidade e pH, ao contrário de magnésio, cálcio, cloreto e dureza. Valores das médias, bem como os desvios, retratam a disparidade entre as baías e salinas, aumentando as concentrações de sais. Isso possibilita a geração de *blooms* de organismos como cianobactérias, comumente encontradas nas salinas, que elevam notadamente o pH. Por outro lado, estudos anteriores mostram que o pH das baías na região estudada é mais elevado que nas porções a norte e noroeste da Nhecolândia, mesmo considerando períodos de coleta em períodos de seca mais severa (Almeida *et al.*, 2003).

No entanto, para identificar baías e salinas a partir dos íons Ca, Mg, K e nas amostras de água de superfície, prevalecem os resultados expressivos do Na e K que se encontram em altas concentrações

nas salinas, parâmetros esses com relação de alta covariância. Galvão *et al.* (2003) descrevem que a correlação linear (r) de condutividade elétrica com K e Na nas salinas é de 0,98 e 0,97, respectivamente, por tratar-se de água salgada composta de águas alcalinas com altos valores de condutividade elétrica.

Além disso, o alto nível de concentração de potássio pode estar atrelado ao grande número de algas que nelas habitam (Figura 8), pois o K atua como cofator de muitas enzimas para organismos fotossintetizantes, sendo necessário para secreção de insulina, fosforilação da creatina e metabolismo de carboidrato e proteínas.

Quanto ao sódio, sabe-se que as salinas possuem uma camada esverdeada, a uma profundidade da superfície de 0,80 a 1,50 m, apresentando teores elevados de sódio. Provavelmente, a camada salina serve como base para a manutenção da água na lagoa salina (Sakamoto *et al.*, 2005). Contudo, concentrações de sódio nas águas superficiais (Figura 9) variam conforme as condições geológicas do local. Quando o teor de sódio em certos tipos de solos é elevado, sua estrutura pode degradar-se pelo restrito movimento da água, afetando o crescimento das plantas (Cunha, 1980).

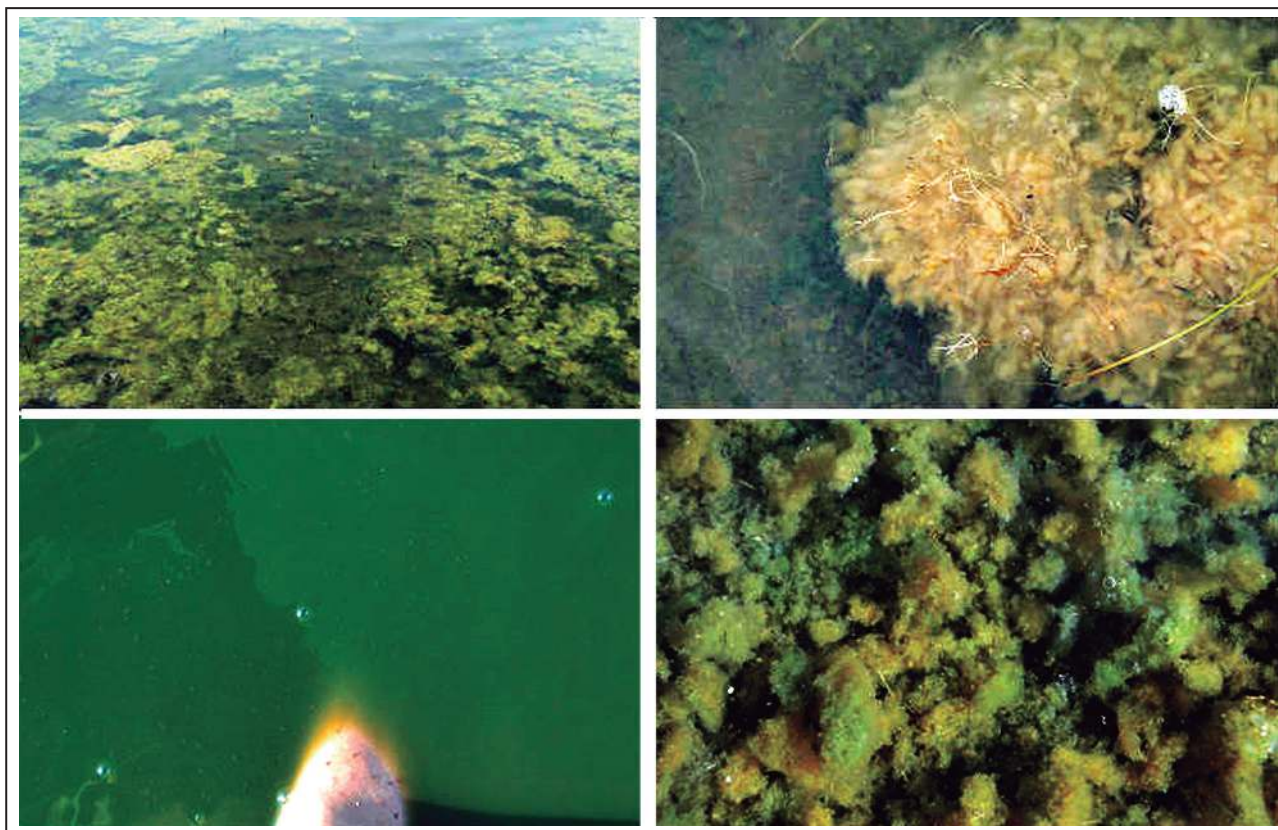


Figura 8 Diferentes tipos de algas encontradas nas salinas do Pantanal da Nhecolândia, observados durante as campanhas de campo realizadas em 2012 e 2013.

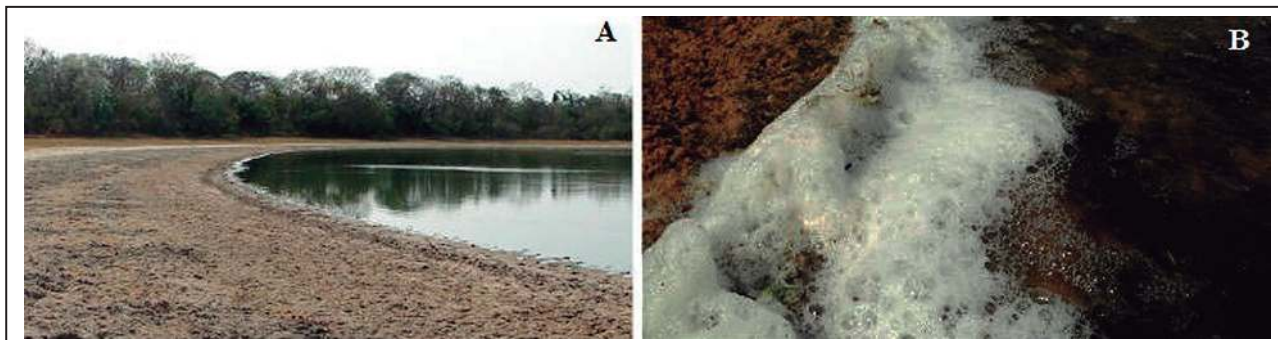


Figura 9 Vista de uma salina com borda sem vegetação devido à alta concentração de sódio (A). Em (B), a espuma de uma salina, outro elemento que demonstra a presença de sódio em níveis elevados.

Durante o período da cheia do ano de 2012, os pontos 30 e 31 (salina e baía, respectivamente) interligaram-se (Figura 10), fato que modificou suas propriedades físico-químicas. Com tal situação, toda a vegetação que ocupava o entorno da baía foi prejudicada, desaparecendo, provavelmente devido ao aumento da salinidade. Destaca-se a raridade de fenômenos como esse, o qual ocorreu provavelmente devido à grande cheia de 2012 (uma das maiores cheias dos últimos 50 anos).

Nota-se que a concentração de cloreto, nas lagoas mais salinas, é maior do que nas baías. Almeida *et al.* (2010) sugerem que esse fato pode estar associado a maior troca de água entre o freático e as baías, diluindo a concentração de isótopos pesados com as águas de razões isotópicas próximas às das águas de chuva.

A concentração média de Ca e Mg não mostrou diferença entre baías e salinas. De acordo com Barbiero *et al.* (2008), a evaporação é o principal

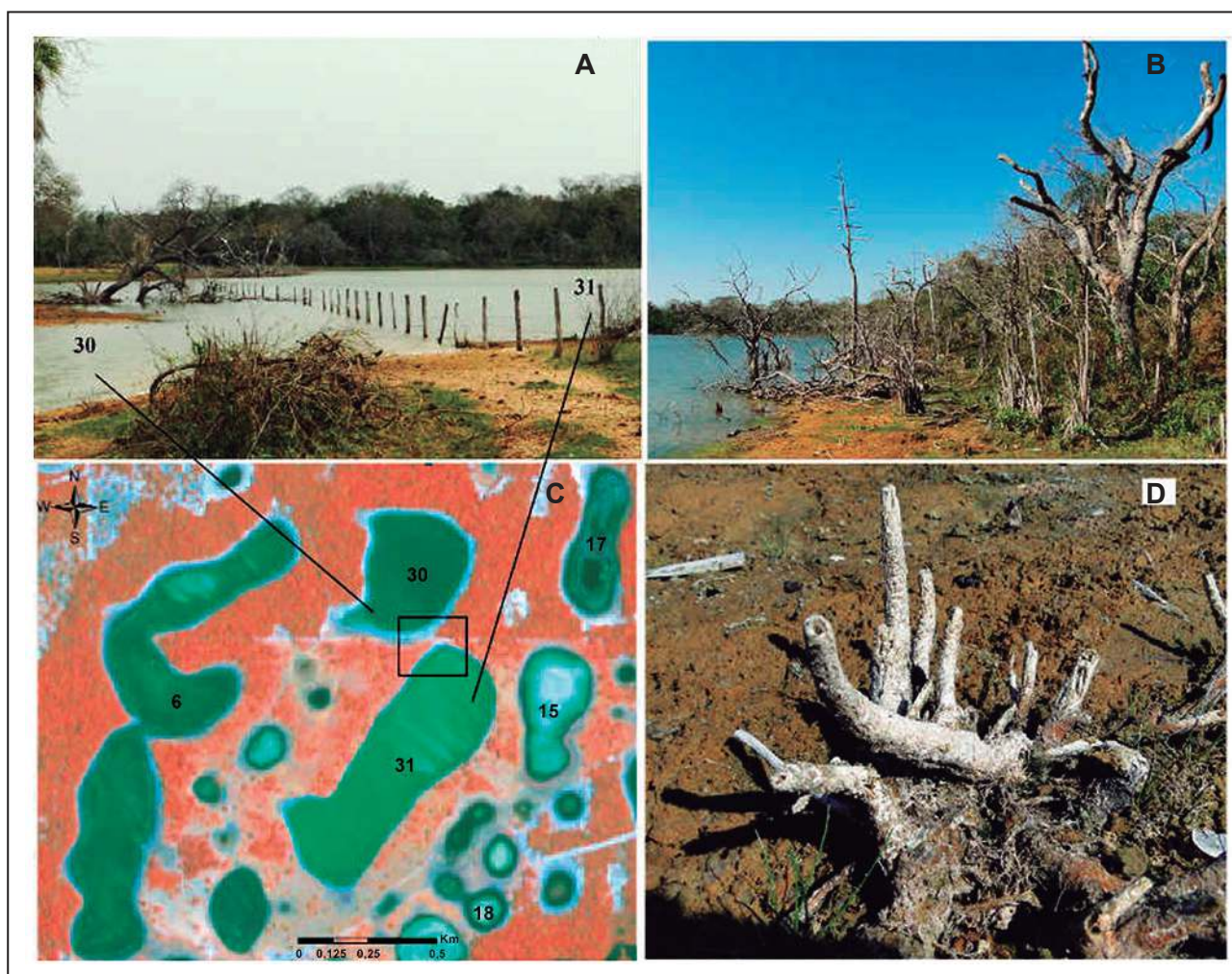


Figura 10 Registro fotográfico da campanha de agosto de 2012 após a cheia. Em A visualiza-se a conexão entre duas lagoas (30 - salina e 31 - baía). Em B, nota-se a vegetação da lagoa (anteriormente baía) sucumbir devido às alterações físico-químicas. Na figura C tem-se um exemplo de como a vegetação responde a essas mudanças. A imagem de satélite de ALOS AVNIR-2, no item D, apresenta as lagoas antes da cheia que ligou os dois corpos d'água.

processo responsável pela variabilidade química das lagoas/ baías ou salinas. Outro fator é por meio do controle de Ca e Mg, que também está relacionado com a evaporação e precipitação de associados, como calcita e carbonatos. Esses elementos estão associados a complexos ciclos hidroquímicos, que dependem das propriedades físico-químicas encontradas em cada lagoa.

O processo de alcalinização das lagoas possui um aspecto hidrogeoquímico associado ao aumento de salinidade (devido a evaporação), do pH e alcalinidade, em decorrência da precipitação de carbonatos de Cálcio e Magnésio, mais insolúveis, bem como a manutenção de ânions (HCO_3^- e CO_3^{2-}). Esse cenário resulta em condições ambientais mais

agressivas às macrófitas e propícias ao fitoplâncton (Almeida, 2009).

Sakamoto (2005) levantou vários questionamentos sobre esse quadro rico em processos, sobre a variabilidade geoquímica no interior de cada sistema, incluindo as fases minerais em equilíbrio com as águas e as precipitações minerais ou as dissoluções que interviriam nesses ambientes.

Diante dessa discussão é importante o entendimento de como esses elementos de natureza distinta se comportam em um meio repleto de diversidade biótica e inundações frequentes, como acontece na Nhecolândia.

Tecnologias como o sensoriamento remoto podem colaborar para a maior compreensão desse

sistema tão complexo, pois os parâmetros físico-químicos em conjunto com os fatores bióticos são detectados pelos sensores. Isso pode ser visto ao se espacializar dados como o pH em uma imagem multiespectral (Figura 11), o que permite notar a diferença na resposta espectral dos diferentes valores de pH.

As lagoas com altos valores de pH têm resposta espectral homogênea (no caso, salinas), enquanto lagoas com valores de pH mais baixos (baías) apresentam resposta espectral diferente. Nesse contexto, percebe-se também que essa distribuição não é ao acaso, pois os valores têm um padrão que pode estar associado à localização dessas lagoas em relação ao freático.

Com a imagem de satélite tem-se uma primeira aproximação de análise, compreendendo o sistema como um todo, o qual se pode associar além das condições químicas, também as geológicas, bióticas e geomorfológicas de toda sub-região do Pantanal

da Nhecolândia. Numa segunda aproximação, as variáveis limnológicas coletadas em campo desempenham o papel de dirimir dúvidas a respeito da classificação das lagoas em baías ou salinas.

4 Conclusão

Dos vários parâmetros aqui discutidos, os valores de pH, alcalinidade, salinidade, concentração de sódio e potássio evidenciam com maior clareza a diferença entre baías e salinas. Quando associado ao uso de sensoriamento remoto, a eficácia desses dados aumenta de modo a contribuir para a compreensão da distribuição espacial desses diferentes tipos de lagoas.

Soma-se a isso o fato dos parâmetros utilizados para realizar essa separação terem sido validados pelos resultados das variáveis físico-químicas coletadas em campo. Conclui-se que a ferramenta de sensoriamento remoto é essencial

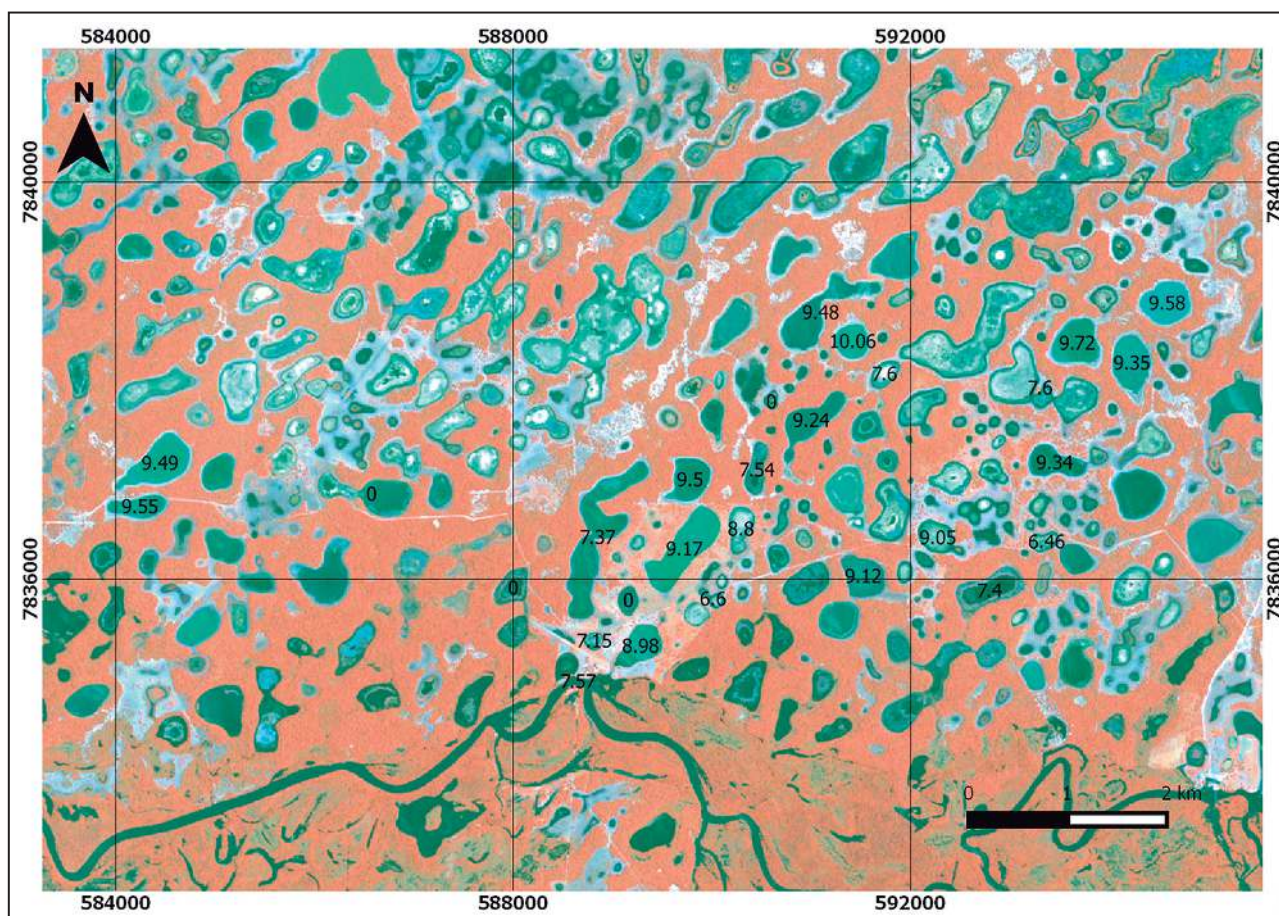


Figura 11 Valores de pH coletados em campanha de campo realizada em 2013 espacializados em imagem ALOS AVNIR-2 R4G2B3 de 2010.

para o conhecimento da Nhecolândia, que possui mais de 18.000 lagoas, inviabilizando uma análise tradicional de dados físico-químicos em campo.

De modo a corroborar para a melhor distinção entre baías e salinas, através de sensoriamento remoto e baseando-se na vegetação aquática, recomenda-se aplicar índices de vegetação, os quais são capazes de identificar os diferentes tipos de cobertura vegetal.

5 Agradecimentos

A CAPES pela bolsa de Doutorado de C. L. Miotto e A. P. G. Oliveira. Ao CNPq pela Bolsa de Produtividade em Pesquisa (Processo 305300/2012-1) de A.C. Paranhos Filho e PIBIC de B. S. de Almeida.

6 Referências

- Almeida, T.I.R.; Sígolo, J. B.; Fernandes, E.; Queiroz Neto, J.P.; Barbiero, L. & Sakamoto, A.Y. 2003. Proposta de classificação das lagoas da Baixa Nhecolândia-MS com base em sensoriamento remoto e dados de campo. *Revista Brasileira de Geociências*, 33(2): 83-90.
- Almeida, C.M.; Souza, I.M.E.; Alves, C.D.; Pinho, C M.D. & Feitosa, R.Q. 2009. Métodos cognitivos de classificação aplicados a imagens QuickBird para a detecção de áreas residenciais homogêneas. *Revista Brasileira de Cartografia*, 61(1): 1-12.
- Almeida, T.I.R.; Paranhos Filho, A.C. & Bertolo, R.A. 2010. Os Diferentes Graus de Isolamento da Água Subterrânea como Origem de sua Variabilidade: Evidências Isotópicas, Hidroquímicas e da Variação Sazonal do Nível da Água no Pantanal da Nhecolândia. *Geologia USP. Série Científica*, 10(3): 37-47.
- APHA. 2012. Federation, Water Environmental, and American Public Health Association. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association (APHA), 21 th Ed. Washington, DC, USA.
- Barbiero, L.; Rezende Filho, A.; Furquim, S.A.C.; Furian, S.; Sakamoto, A.Y.; Valles, V.; Graham, R.C.; Fort, M.; Ferreira, R.P.D. & Queiroz Neto, J.P. 2008. Soil morphological control on saline and freshwater lake hydrogeochemistry in the Pantanal of Nhecolândia, Brazil. *Geoderma*, 148(1): 91-106.
- Cândido, A.K.A.A.; Silva, N.M. & Paranhos Filho, A.C. 2015. Imagens de Alta Resolução Espacial de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) no Planejamento do Uso e Ocupação do Solo. *Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ*, 38(1): 147-156.
- Costa, M.P.F. & Telmer, K.H. 2006. Utilizing SAR imagery and aquatic vegetation to map fresh and brackish lakes in the Brazilian Pantanal wetland. *Remote Sensing of Environment*, 105(3): 204-213.
- Cunha, N.G. 1980. *Considerações sobre os solos da sub-região da Nhecolândia, Pantanal Mato-Grossense*. Corumbá, EMBRAPA-UEPAE, 45p.
- Eaton, D.P. 2006. Contribuição para Conservação de macroinvertebrados, peixes, e habitats de água doce no Pantanal da Nhecolândia e do Rio Negro, Mato Grosso do Sul. *Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde*, 10(1): 99-118.
- Esteves, F.A. 1998. *Fundamentos de limnologia*. 2. Ed. Rio de Janeiro, Editora Interciência/FINEP 575p.
- Galvão, L.S.; Pereira Filho, W.; Abdon, M.M.; Novo, E.M.L.M.; Silva, J.S.V. & Ponzoni, F.J. 2003. Spectral reflectance characterization of shallow lakes from the Brazilian Pantanal wetlands with field and airborne hyperspectral data. *International Journal of Remote Sensing*, 24(21): 4093-4112.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística em parceria com ASF/AADN - Alaska Satellite Facility. *Imagem de Satélite*. ALOS (Advanced Land Observing Satellite) AVNIR-2 (Advanced Visible and Near Infrared Radiometer type 2) - JAXA Japan Aerospace Exploration Agency. Canais 1, 2, 3 e 4. Órbita 1086. CD-ROM. De 4 de fevereiro de 2008.
- Paranhos Filho, A.C.; Nummer, A.R.; Albrez, E.A.; Ribeiro, A.A. & Machado, R.A. 2013. study of structural lineaments in Pantanal (Brazil) using remote sensing data. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 85(3): 913-922.
- Pott, V.J.; Bueno, N.C.; Pereira, R.A.C.; De Salis, S.M. & Vieira, N.L. 1989. Distribuição de Macrófitas Aquáticas numa Lagoa na Fazenda Nhumirim, Nhecolândia, Pantanal, MS. *Acta Botanica Brasilica*, 3(2): 153-168.
- Sakamoto, A.Y.; Queiroz Neto, J P.; Barbiero, L.; Fort, M.; Furian, S.; Ferreira, R.P.D.; Furquim, S.A.C.; Rezende Filho, A.T.; Oliveira, W.; Bacani, V.M. & Silva, M.H.S. 2005. Funcionamento Hidrológico, Físico e Biogeoquímico do Pantanal da Nhecolândia, Mato Grosso do Sul, Brasil. In: ENCONTRO DE GEÓGRAFOS DA AMÉRICA LATINA, 10, São Paulo, 2005. *Anais*, São Paulo, p. 13144-13156.
- Soriano, B.M.A.; Oliveira, H. de; Catto, J.B.; Comastri Filho, J.A.; Galdino, S. & Salis, S.M. de. 1997. Plano de utilização da Fazenda Nhumirim. *Publicações da Embrapa Pantanal*. Documentos 21, 72p.