

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**CLASSIFICAÇÃO GEOQUÍMICA DAS LAGOAS DA  
BAIXA NHECOLÂNDIA (MS) COM BASE EM  
SENSORIAMENTO REMOTO E PARÂMETROS  
FÍSICO-QUÍMICOS**

Fábio Gianotti Stern

Orientador: Prof. Dr. Joel Barbujiari Sígolo

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA  
(TF-2003/24)

SÃO PAULO  
2003

TF  
S839  
FG.c



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEDALUS - Acervo - IGC



30900014505

**CLASSIFICAÇÃO GEOQUÍMICA DAS LAGOAS DA  
BAIXA NHECOLÂNDIA (MS) COM BASE EM  
SENSORIAMENTO REMOTO E PARÂMETROS  
FÍSICO-QUÍMICOS**

**FÁBIO GIANOTTI STERN**



Monografia de Trabalho de Formatura

**Banca Examinadora**

Prof. Dr. Joel Barbujianni Sígolo

Prof. Dr. Marcelo Monteiro da Rocha

Prof. Dr. Paulo Roberto dos Santos

São Paulo

2003

TF  
5839  
FG.c

DOAÇÃO <u>SE 19</u>
<u>Graduação - IGC</u>
Data: <u>06/05/2004</u>





## **Agradecimentos**

Gostaria de agradecer as pessoas que me ajudaram na elaboração desse trabalho de formatura ao longo do ano: Prof. Joel Barbujianni Sígolo e Prof. Teodoro Isnard Ribeiro de Almeida pela total cooperação e auxílio para execução do trabalho, o pessoal do Laboratório de Informática da Geológica (LIG), em especial ao Prof. Marcelo Monteiro da Rocha. Aos meus colegas pelo suporte na maratona final de montagem do TF, Moi (Daniel da Paz) e Lêndia (Rodrigo Felix).

Entretanto, não posso deixar de agradecer aqueles que estiveram junto comigo durante os longos anos de graduação, em todas as ocasiões e momentos de que jamais esquecerei, e também por todo o tempo bom que passei nessa maratona durante anos no Instituto de Geociências: Prof. Daniel Atencio, Isaac Jamil Sayeg, meus colegas Keity (Ricardo Taccola), Guga (Gustavo Cioto) e Morde (Daniel F. Brandão), além dos meus colegas do trabalho, Vermelho, Jú e Alaine por toda a força que me deram, e sem esquecer o pessoal do Mirante. Um agradecimento especial a querida Déa por todo seu carinho, antes e durante quase todo meu longo curso na geologia, e também a minha família por tudo, pois sem eles não estaria aqui.



## RESUMO

Este trabalho descreve a origem e classifica preliminarmente 118 lagoas da região de Nhecolândia no Pantanal na área compreendida pela Fazenda Nhumirim da Embrapa e Fazenda Firm, Mato Grosso do Sul.

Esta classificação baseou-se em sensoriamento remoto, dados físico-químicos das águas subterrâneas sob as lagoas (valores de pH e de condutividade elétrica - CE) e na fisiografia local (condições climáticas, geomorfológicas e de cobertura vegetal).

O processamento das imagens digitais envolveu duas imagens, (TM do satélite Landsat 5 de outubro de 1990 e ETM Landsat 7 de setembro de 2002) em que foram estabelecidas as comparações da fisiografia local, assim como da dinâmica nas mudanças geomorfológicas locais entre uma imagem e outra. Controle de Campo: sua execução consistiu na identificação e checagem das lagoas cuja resposta espectral encontrava-se realçada nas imagens TM e classificadas visualmente. Quando detectada a localização exata da lagoa procurada, foram medidos em campo, os dados físico-químicos de caracterização das suas águas de subsuperfície.

Com base nos dados obtidos nas 117 lagoas previamente selecionadas e amostradas, permitiu-se propor a seguinte classificação: Um grupo considerado ligeiramente ácido, com pH 5 a 6 denominado de **Não Alcalinas**, cujos valores obtidos em campo de pH oscilam de 5,38 a 6,97, este contingente compreende um total de 76 lagoas. Um segundo grupo possuindo pH de suas águas de subsuperfície oscilando na faixa entre 7 a 8 denominado de grupo de Lagoas **Alcalinas**, sendo 7,01 e 7,9 os limites encontrados, compondo um total de 24 lagoas identificadas nestas condições e, um último grupo, com pH entre 8 e 9. Neste, com valores de pH de campo que variaram de 8,04 a 9,75 denominadas de grupo de Lagoas **Hiperalcalinas**, totalizando 17. No contingente de 118 lagoas (uma sem dados de pH) o domínio pertence às não alcalinas, as alcalinas são comuns (total de vinte e quatro) e as hiperalcalinas são pouco mais raras que as alcalinas (dezessete ocorrências).

Através dos resultados obtidos em campo, associados com resultados obtidos nas referências bibliográficas, pode-se associar a distribuição e distinção de pH ao efeito das cheias, após as quais as lagoas mais rasas em relação à topografia regional perdem sua água de superfície, enquanto as mais profundas, em geral alcalinas e salinas, mantêm-se com água. Com a continuidade da estiagem, as lagoas alcalinas perdem água por evaporação aumentando a salinidade e criando ambiente propício para infestação de



algas diversas; persistindo a estiagem, o nível das águas desce, expondo o fundo dos lagos coberto por matéria orgânica e eventualmente sal. As lagoas protegidas pelas "cordilheiras" íntegras, com cobertura vegetal arbórea, são pouco ou nada influenciadas pelas vazantes (controle hidrológico, com afluxo de água não alcalina). Com a estiagem prolongada ocorre a precipitação da matéria orgânica e sais dissolvidos. A concentração destes tende a aumentar nos períodos climáticos em que a estação de seca é mais agressiva, levando estas lagoas a aumentarem sua alcalinidade e o seu conteúdo de solutos (sais bicarbonatados de sódio, magnésio etc), no qual os valores de potássio e sódio na época de estiagem nas salinas (novembro/79, agosto/80) atingem valores até vinte vezes maiores que as lagoas de água doce na mesma época. Resultados de análises obtidos de POTT et al. (1987) apresentam amostras de solo coletadas nas lagoas, durante a época de cheia e seca entre os anos de 1979 e 1980 que referendam as observações acima.



## ABSTRACT

*This work gives the origin and preliminary classification of 118 lakes located in the Nhecolândia region, Pantanal, in the area comprised by the Fazenda Nhumirim, part of Embrapa, and the Fazenda Firm, in Mato Grosso do Sul.*

*The classification is based on remote sensing, physical-chemical data of the lakes underground water (pH values and electrical conductivity – EC) and the local physiography (climatic conditions, geomorphology and vegetation cover).*

*The digital images processing involved two images (Landsat 5 TM satellite, dated October 5, 1990 and Landsat 7 ETM, dated September 7, 2002) in which local physiography comparisons were established, as well as local geomorphological changes within both images. The field Control was carried out by identifying and checking the lakes with increased spectral response in the TM images, and visually classified. When the exact location of the lake being searched was detected, the physical-chemical underground water characterization data was measured in the field.*

*Based on the data obtained from the 117 lakes previously selected and sampled, we were able to submit the following classification: one group considered slightly acid, with pH factor 5 to 6, denominated Non Alkalines, for which the pH field values range from 5.38 to 6.97, totaling 76 lakes. A second group with underground water pH values ranging from 7 to 8, denominated Alkaline lakes group, with limits between 7.01 and 7.9, totaling 24 lakes presenting these conditions. And the last group, with pH factor between 8 and 9, and pH field values variation between 8.04 to 9.75, denominated Hyperalkalines group of lakes, totaling 17 lakes. In the sample comprising 118 lakes (one without pH data) the non alkalines dominate, the alkalines are common (totaling twenty-four) and the hyperalkalines are somewhat more sparse than the alkalines (seventeen occurrences).*

*Based on the results obtained in the field and combined with the results obtained through bibliographical references, we can associate the pH distribution and variation to the effects of flooding, after which, due to the topography of the region, the shallowest lakes loose the surface water, while the deeper lakes, generally alkalines and salines, retain the water. During a dry season, the alkaline lakes loose water through evaporation, thus increasing the salinity and creating a favorable environment for the infestation of algae. As the dry season continues, the water level falls, exposing the bottom of the lakes covered by organic matter and eventually salt. The lakes protected by untouched “ranges”, with vegetation and wood cover, are little or not at all affected by the run-off (hydrological control, with non alkaline water flow). During a prolonged dry season the organic matter and dissolved salts precipitate. They tend to have a higher concentration in periods when the dry season is more intense, causing an increase in their alkalinity and solute content (sodium bicarbonated salts, magnesium, etc.), a time (as in November 1979 and August 1980) when*



the potassium and sodium concentration reach figures twenty times higher than the one for fresh water lakes in the same period. Analysis results obtained by POTT et al. (1987) show soil samples obtained from lakes during periods of flooding and of dry season between 1979 and 1980 that corroborate the observations above mentioned.



## ÍNDICE

I. INTRODUÇÃO	01
II. METAS E OBJETIVOS	02
III. TRABALHOS PRÉVIOS	03
IV. MATERIAIS E MÉTODOS	04
V. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO	05
VI. RESULTADOS OBTIDOS	06
VII. INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÕES	23
VIII. CONCLUSÕES	25
IX. BIBLIOGRAFIA	26
X. ANEXOS	29



## I. INTRODUÇÃO

Esta ampla região (**Figura 1**) pode ser subdividida em diversos compartimentos (BRASIL, 1982), dos quais o Pantanal do Taquari, compreendendo o Leque aluvial do mesmo rio, cuja aba sul foi denominada, por vários autores, de Pantanal da Nhecolândia. O curioso nome é devido ao apelido do filho do Barão de Vila Maria, que recuperou e povoou a região após a Guerra do Paraguai, na segunda metade do século XIX (VALVERDE, 1972).

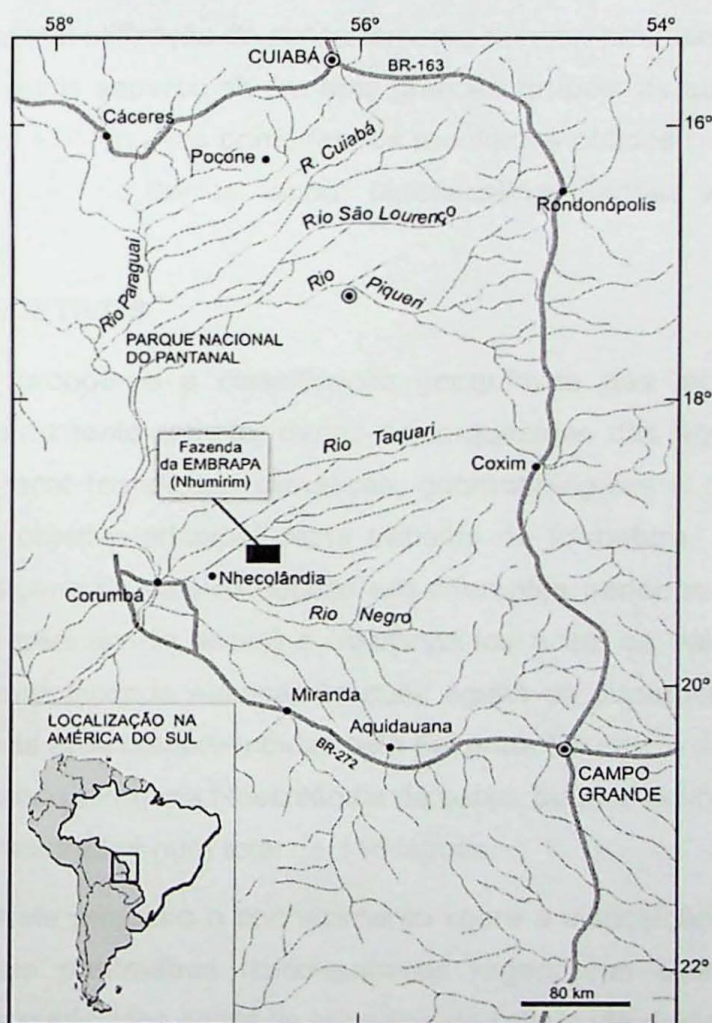


Figura 01: Mapa de localização da área de estudo.

O Pantanal e a evolução de suas lagoas, embora sujeito à ampla divulgação na mídia nacional e internacional sobre diferentes prismas biológicos é ainda deficientemente conhecido no que concerne à salinidade das lagoas, em decorrência de sua complexidade e diversidade.



Descrições de suas características geomorfológicas são encontradas em extensos e interessantes trabalhos de AB'SABER (1988). A descrição de suas lagoas, formadas quando das enchentes, levaram à identificação de certa alcalinidade e salinidade em suas águas. Nesta linha, destaca-se o trabalho pioneiro de CUNHA (1943), produzindo os primeiros resultados sobre os graus de salinidade e composição química das águas de algumas destas lagoas. Naquela época, o autor já destacava o caráter salobro de algumas águas (principalmente subterrâneas) e apontava a existência de sais contendo magnésio, cálcio e sódio, com indicações secundárias de potássio, associados a ânions carbonatados e sulfatados. Diferentes trabalhos nesta linha foram produzidos posteriormente.

Mais recentemente ALMEIDA et al. (2003), com utilização de dados obtidos de amostras de campo juntamente com a utilização de sensoriamento remoto, propuseram uma classificação para essas lagoas, as quais separou-se em dois grandes grupos: as que exibem alcalinidade (salobras) e as que não exibem. Nas primeiras, os resultados obtidos permitiram distinguir pelo menos três grandes grupos de Bacias: lagoas hiperalcalinas, lagoas alcalinas e lagoas não alcalinas.

## **II. METAS E OBJETIVOS**

Neste trabalho propõe-se a classificação geoquímica das lagoas da Nhecolândia, baseando-se em sensoriamento remoto, dados físico-químicos das águas subterrâneas das lagoas e a fisiografia local (condições climáticas, geomorfológicas e de cobertura vegetal). Basicamente este é o objetivo principal deste trabalho de formatura, ou seja, contrapor os dados referentes a imagens de satélite obtidas em diferentes períodos climáticos desta área (período de vazante e período de secas) e interpretá-los a luz de valores de dados físico-químicos (pH, CE – condutividade elétrica) de suas águas de superfície e de subsuperfície, mais especificamente nas áreas compreendidas pela Fazenda Nhumirim da EMBRAPA na Baixa Nhecolândia, e pela Fazenda Firm na Nhecolândia de baixo, poucos quilômetros ao sul; na qual foram investigadas e amostradas num total de 118 lagoas.

Atualmente persiste pequeno o conhecimento sobre a disposição geográfica de lagoas alcalinas/salinas e quais parâmetros físico-químicos regem sua existência e porque. Os trabalhos mais recentes publicados sobre os aspectos da salinidade destas lagoas (BARBIERO et al., 2000 e 2002) mostram neste caso que as lagoas salinas são o resultado de processos atuais de concentração de águas muito pouco mineralizadas, e também sobre seu quadro classificatório e de identificação destas diferentes variedades de lagoas (ALMEIDA et al., 2003), no qual propõe a classificação e gênese dessas lagoas e de seu entorno para determinar quais processos as induzem à alcalinidade/salinidade. Estes trabalhos, no entanto ressentem-se ainda de uma análise geoquímica mais completa.



### III – TRABALHOS PRÉVIOS

Em estudos na área da região Pantaneira AB'SABER (1988) apresenta descrições intensas suas características geomorfológicas em extensos trabalhos, bem como descrições morfológicas detalhadas e precisas, são encontradas em ALMEIDA e LIMA (1959).

Diversos trabalhos sobre as lagoas dessa região do Pantanal estão agrupados no Simpósio sobre Recursos Naturais e Sócios-econômicos do Pantanal, que se firmou a partir de 1986, encontrando-se atualmente em sua terceira edição (2000). BRUM et al. (1985) relatam análise de minerais contidos nas águas das “baías” e “salinas”, coletados na época da seca de 1981. POTT et al. (1987), relatam resultados de análises de amostras de solo, água e gramíneas nativas da sub-região de Nhecolândia, do Pantanal Mato-grossense em três épocas diferentes do ano (novembro de 1979, maio e agosto de 1980). No ano de 1995, HAMILTON et al., delimitaram a produção de CO<sub>2</sub> como vetor principal da existência de metano nestas lagoas. Posteriormente, estes mesmos autores (HAMILTON et al., 1996), exibem dados sobre a influência dos efeitos da variabilidade atmosférica e das chuvas na organização das diferentes feições aquosas existentes no pantanal (corixos, vazantes, lagoas). Mais recentemente ALMEIDA et al. (2003) publicaram quadro classificatório sobre seus aspectos de salinidade e, nesse mesmo ano SÍGOLO et al. (2003) propõem um modelo geoquímico dessas lagoas, separando-as em dois grandes grupos: alcalinas e não alcalinas. TAVARES FILHO (2003) et al. identifica, em escala local, a organização espacial da salinidade no lençol freático na Fazenda Nhumirim, mesmo local desse estudo.

Pouco numerosas são as aplicações de sensoriamento remoto na análise do pantanal na região de Nhecolândia. BAUN (1977), BRASIL (1982) e HAMILTON et al. (1996) trabalharam com imagens obtidas na faixa das microondas, o que limita o estudo do comportamento espectral das águas livres, com resposta apenas no domínio óptico. Em 1998 a EMBRAPA (Empresa Brasileira de Agropecuária) publica uma seleção de trabalhos relacionados a sensoriamento remoto na região de Nhecolândia e demais regiões do Pantanal. FERNANDES et al. (1999) e FERNANDES (2000), utilizando imagens TM do satélite Landsat 5, embora não tenham discutido sistematicamente a questão, verificaram que as salinas encontram-se quase sempre envolvidas por cordilheiras, sendo no geral perenes e apresentando baixa refletância na banda TM5 (1650nm) quando com água livre, enquanto nas demais lagoas a resposta é nula. CAPELLARI (2001) apresenta abordagens considerando as respostas espectrais, tanto das áreas inundadas como as de água livre. Nas áreas não inundadas, correlaciona a densidade de cobertura vegetal intensa com áreas elevadas em relação às vizinhas, corroborando com trabalhos anteriores (FERNANDES et al., 1999 e FERNANDES 2000). Com respeito aos corpos d'água, CAPELLARI (op.cit.) distingue, em imagens do período de seca, lagoas (água doce e



ácida) de salinas (água salgada e alcalina), utilizando-se de métodos de classificação supervisionada pelo método de máxima verossimilhança (maxver).

A literatura de sensoriamento remoto de lagos exhibe, além da detecção da turbidez, respostas espectrais de pigmentos fotossintetizantes, matéria orgânica dissolvida e húmus aquático (BRIVIO et al., 2001).

#### **IV. MATERIAIS E MÉTODOS**

##### **Sensoriamento Remoto**

No que diz respeito ao emprego do processamento digital foi utilizada inicialmente uma imagem TM, do satélite Landsat 5, de 21 de outubro de 1990, a mesma utilizada em ALMEIDA et al. (2002) na proposta de classificação dessas lagoas. A imagem de 1990 foi escolhida por representar um momento de fim do período de seca, mas com expressiva superfície de água livre na maior parte das salinas e baías. Nas demais etapas do projeto optou-se utilização de duas outras imagens ETM, do satélite Landsat 7 de 18 de abril de 2001 e do satélite Landsat 7 de 28 de setembro de 2002.

A preferência por duas imagens de épocas do ano diferentes, num intervalo de tempo pequeno entre elas (pouco mais de um ano e meio), ocorreu por representarem melhor o ciclo anual de cheias e secas nesta área. Esta escolha permite analisar a possibilidade de detecção de diferentes classes de lagoas pela resposta espectral da superfície do corpo d'água, modificado pela atividade biológica nela desenvolvida, principalmente naquelas de maior pH e salinidade (diretamente relacionada à CE, dado medido em campo). Observe-se, ainda, que a imagem Landsat 7 de 28.09.02 representa o ciclo de seca da mesma época em que foram amostradas e coletadas as primeiras 77 lagoas, durante a campanha de campo inicial realizada em outubro de 2002.

Partindo-se do conhecimento prévio das características de três lagoas salinas da fazenda Nhumirim, da Embrapa, estas foram consideradas com "*end members*" ou seja, como representativas de situações diferentes. Foram tomadas amostras de leitura da radiância média de 9 pixels do centro de cada lagoa, após a correção atmosférica pelo algoritmo do ER-Mapper 6.1, baseado no método da subtração do pixel escuro, de CHAVEZ (1975). Estes três corpos d'água, embora com características gerais de salinas, no conceito tradicional da região, são profundamente diferentes entre si, como confirmado em campo.

##### **Controle do mapeamento**

A execução desta fase dividiu-se em duas etapas: a primeira realizada por ALMEIDA et al. (2003) consistiu inicialmente na identificação e checagem das lagoas cuja resposta espectral



encontrava-se realçada nas imagens TM e classificadas visualmente. A localização destas lagoas faz-se através de coordenadas obtidas em campo por GPS (Garmin Etrex AdventureII) e o adequado georeferenciamento da mesma quando identificada no campo e lançada em mapa produzido desta área no Laboratório de Informática Geológica do Instituto foram medidos em campo, os dados físico-químicos (pH e CE) de caracterização das suas águas de superfície quando possível e de subsuperfície, totalizando 77 lagoas.

A segunda etapa somou dados de mais 41 lagoas localizadas e amostradas na outra etapa de campo, realizada em agosto desse ano. Os valores obtidos com este procedimento deverão ser contrapostos de forma comparativa com os resultados obtidos na interpretação das imagens e dos valores obtidos de alcalinidade em campo, bem como sua identificação e localização.

## **V. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO**

O trabalho desenvolveu-se ao longo do ano, sempre tentando ao máximo adequar-se às datas previamente selecionadas para entrega dos relatórios de progresso e final.

O cronograma de atividades foi inicialmente proposto conforme as necessidades do projeto, porém ao longo do ano, de acordo com o andamento do trabalho, algumas mudanças ocorreram (Tabela 01). O levantamento bibliográfico fundamental para o embasamento do trabalho, consistiu em revisão de trabalhos relacionados à área de estudo (região da Nhecolândia). A etapa de análise de imagens de sensoriamento remoto foi uma das mais extensas, porém de fundamental importância. Para a obtenção de dados físico-químicos, além dos inicialmente obtidos do trabalho de ALMEIDA et al.(2003), foi necessário a contribuição de pessoas externas ao projeto que estiveram no Pantanal neste ano, e acabaram por coletar os demais dados necessários para a continuação e finalização desse projeto, já que o trabalho de campo inicialmente proposto com a participação do aluno, acabou não ocorrendo.



Tabela 01: Cronograma de Atividades realizadas

Atividades	2003									
	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	
Revisão Bibliográfica										
Sensoriamento remoto										
Obtenção de dados físico químicos										
Relatório de Progresso										
Interpretação de imagens										
Correlação dos dados obtidos										
Caracterização geoquímica das lagoas										
Monografia										
Resumo										
Apresentação da Monografia										

## VI. RESULTADOS OBTIDOS

### A. Referências Bibliográficas

Dos dados bibliográficos obtidos relatam-se os resultados de análises obtidos de BRUM et al. (1985) e POTT et al. (1987), ambos obtidos na parte central da sub-região da Nhecolândia, do Pantanal Mato-Grossense.

A publicação de BRUM et al. (1985) relata a concentração de minerais contidos nas águas das lagoas da região, através da coleta de 17 amostras de água de “baías” e 20 amostras de águas de “salinas” (Tabela 2), durante a época de seca (setembro/outubro) do ano de 1981. Os resultados apresentam diferença significativa apenas nos teores médios de sódio (média de 484 ppm) e potássio (média de 213,9 ppm) para as lagoas “salinas”.

Em POTT et al. (1987) apresentam-se amostras de solo exibidos nas Tabelas 03 e 04, água e gramíneas nativas, coletadas em três épocas do ano (novembro/79, maio/80 e agosto/80), e de sangue e osso de bovino em quatro épocas (idem anteriores mais fevereiro/80). As amostras de solo e gramínea foram coletadas em cinco unidades de paisagem: **mata**, **cerrado**, **caronal**, **campo limpo** e **lagoa**.

Nesses **solos** (Tabela 03), o pH variou de 4,1 a 6,2, sendo o valor mais baixo apresentado pelo solo de **cerrado** e o mais alto o solo de **mata** no final do período chuvoso. Os teores médios de cátions trocáveis (Al, Na, Ca, Mg, P e K) variaram como indicado: Alumínio de 6ppm a 39ppm, sendo o mais baixo apresentado pelo solo de **mata**, sendo coerente com os valores mais elevados de pH, e a concentração máxima sendo atingida em maio no solo de **cerrado**. Sódio variando de 1ppm a 20ppm, apresentando pequena variação entre as unidades da paisagem



nas épocas de coleta. O cálcio variou de 7ppm a 350 ppm, sempre sendo mais elevado no solo de **mata**, de até cinco a 44 vezes mais elevado que os do **caronal** (tabela 3). Magnésio de 2ppm a 57ppm, sendo as concentrações do solo de **mata** mais elevadas. Fósforo de 1ppm a 16ppm, e Potássio de 16ppm a 74ppm, sempre sendo mais elevado no solo de **mata**, e não havendo muita diferença entre as demais unidades de paisagem.

Os teores de minerais na água (Lagoa), (Tabela 04), foram obtidos em águas de “baías” (lagoas de água doce) e “salinas” (lagoa de água salobra), constatando-se teor elevado apenas em sódio (média anual de 319ppm) e potássio nas “salinas”. Apenas esses dois elementos apresentaram diferenças significativas entre os tipos de lagoa.

**Tabela 02: Níveis médios (mg/L) em amostras de água de “baías” e “salinas”. BRUM et al. (1985)**

Minerais	"Baías"	"Salinas"	Diferença
Cálcio	3,02	1,54	1,48
Fósforo	0,11	2,23	2,12
Sódio	11,35	484	472,65
Magnésio	1,45	0,7	0,75
Potássio	11,53	213,9	202,37
Ferro	1,17	0,64	0,53
Manganês	0,37	0,1	0,27
Cobre	Traços	Traços	-
Cobalto	Traços	Traços	-
Zinco	0,07	0,01	0,06



**Tabela 03: Níveis médios de pH, Al, Ca, Mg, P, K e Na em ppm disponível em amostras de solo. POTT et al. (1987)**

Época	pH	Al	Ca	Mg	P	K	Na
<b>Mata</b>							
Nov/79	5	10	148	24	15,8	74	7
Maio/80	5,5	14	350	57	12,9	55	14
Ago/80	6,2	6	225	47	10,2	45	2
<b>Cerrado</b>							
Nov/79	4,5	30	51	10	3,9	35	9
Maio/80	4,1	39	12	4	3,1	18	20
Ago/80	5,1	20	7	4	2,5	16	1
<b>Caronal</b>							
Nov/79	4,1	21	29	2	2,1	30	8
Maio/80	4,5	34	8	4	2,2	28	16
Ago/80	5,2	14	14	4	1,5	31	2
<b>Campo limpo</b>							
Nov/79	4,3	24	44	6	2,8	48	10
Maio/80	4,7	28	12	4	1,9	18	12
Ago/80	5,3	10	20	4	1,7	20	4
<b>Lagoa</b>							
Nov/79	4,4	15	82	9	1,9	55	7
Maio/80	4,6	24	27	3	1	17	16
Ago/80	5,6	10	36	6	1,5	22	5

**Tabela 04: Níveis médios (mg/L) em amostras de água de "baías" e "salinas". POTT et al. (1987)**

Lagoa	Época	Ca	Mg	K	Na	P
"Baía"	Nov/79	3,7	0,9	10	13	0,2
	Maio/80	0,9	0,6	4	3	Traços
	Ago/80	1,8	0,9	8	6	Traços
	Média	2,4	0,8	8	9	-
"Salina"	Nov/79	0,5	0,3	328	360	1,7
	Maio/80	1,2	0,5	227	249	1,2
	Ago/80	1	0,4	315	347	1,3
	Média	0,9	0,4	290	319	1,4



## B. Dados de Campo e Físico-Químicos

Foram obtidos dados de pH e CE de água coletada num total de 118 lagoas. A campanha de coleta nas lagoas foi realizada em duas etapas. A primeira ocorreu durante o início de outubro de 2002 pelo Orientador e o Coorientador do projeto nas Fazendas Nhumirim, São Joaquim e Boa Vista, na região da Nhecolândia do Meio, durante a qual foram amostradas as primeiras 77 lagoas previamente selecionadas por controle de campo em ALMEIDA et al. (2003).

A segunda etapa de amostragem ocorreu no mês de agosto deste ano, na Fazenda Firm, região da Nhecolândia de Baixo (próximo ao Rio Paraguai), onde foram coletadas amostras de água, de sedimentos e de dados físico-químicos de 41 lagoas restantes por Ermínio Fernandes, pesquisador do Projeto Capes-Cofecub em que também participam o Orientador e o Co-orientador deste Trabalho de Formatura.

Todos resultados foram obtidos através da medição de pH e Eh (Condutividade Elétrica) da água coletada nos furos de trado manual nas lagoas. Para a medição dos dados utilizou-se o condutivímetro *ORION* modelo 250 A, e o peagâmetro *Digimed* modelo DM-2, no qual a água amostrada passou por uma medição num recipiente por cerca de três minutos para cada amostra de lagoa a fim de se obter o valor de pH estático.

Para a apresentação e tratamento de dados obtidos, as lagoas foram separadas inicialmente em duas populações, por apresentarem características geomorfológicas distintas, sendo a primeira à **população I** formada pelas 77 lagoas iniciais localizada na região da Nhecolândia do meio, área influenciada pela Bacia Hidrográfica do Rio Taquari, e a outra **população II** integrada pelas outras 41, situada na região da Nhecolândia de baixo, com influência direta da Bacia Hidrográfica dominada pelo Rio Paraguai. As duas populações de lagoas foram amostradas e coletadas em épocas distintas.

### População I

Para essa população formada por 77 lagoas foram obtidos dados de pH e CE, conforme procedimento descrito anteriormente. Todos os resultados se encontram na Tabela 05.

Os dados físicos químicos obtidos permitiram uma classificação das lagoas quanto sua alcalinidade, além de permitir um tratamento baseado na relação de seus pHs com sua CE, através de gráficos com intervalos de valores pré-determinados. Os intervalos pré-determinados de pHs foram separados em três categorias, baseados na maior frequência observada nos valores obtidos em campo, para todas as lagoas analisadas, que variavam entre 6,5 e 7,0 pra grande maioria. Os dados de CE foram obtidos afim de se tentar estabelecer a salinidade



dessas lagoas, para correlacioná-las com as lagoas alcalinas, tentando-se obter uma correlação entre salinidade e alcalinidade.

Os intervalos pré-determinados foram: 1.) lagoas que apresentam **pH abaixo de 6,5**, 2.) lagoas com **pH entre 6,5 e 7** e 3.) lagoas com **pH acima de 7**. Para os intervalos de **condutividade elétrica** foram separadas também três categorias: 1.) lagoas com condutividade **abaixo de 1000  $\mu\text{S/cm}$** , 2.) lagoas com condutividade **entre 1000 e 2000  $\mu\text{S/cm}$**  e 3.) lagoas com condutividade **acima de 2000  $\mu\text{S/cm}$** .

*Tabela 05: Resultados obtidos das lagoas da primeira campanha 10/2002*

Lagoa	Água subsuperficial			Água superficial	
	CE ( S/m)	pH	NA (m)	CE ( $\mu\text{S/m}$ )	pH
1	7140,00	8,02	-	-	-
2	234,00	6,59	-	-	-
3	409,00	6,61	-	-	-
4	-	-	-	312,00	7,11
5	81,00	6,62	0,38	55,00	6,34
6	1190,00	6,69	1,00	-	-
7	257,00	7,10	0,55	274,00	10,21
8	1240,00	7,06	0,60	3130,00	9,32
9	291,00	7,06	0,45	622,00	8,86
10	653,00	6,53	1,10	-	-
11	620,00	6,71	2,00	-	-
12	101,00	6,71	-	-	-
13	99,00	6,70	-	-	-
14	249,00	6,29	-	-	-
15	300,00	6,65	-	-	-
16	510,00	6,28	-	-	-
17	237,00	6,42	-	-	-
18	1614,00	6,71	0,60	-	-
19	707,00	6,38	1,10	-	-
20	487,00	6,64	0,60	-	-
21	370,00	6,84	1,00	-	-
22	505,00	7,45	1,10	-	-
23	226,00	5,90	2,10	-	-
24	1684,00	6,68	1,50	-	-
25	1186,00	6,63	1,65	-	-
26	888,00	6,55	1,05	-	-
27	756,00	6,17	1,50	-	-
28	25400,00	9,87	0,90	5450,00	10,05
29	1300,00	8,04	1,50	-	-
30	678,00	6,79	0,50	-	-
31	295,00	6,41	1,00	-	-
32	372,00	6,51	0,50	-	-
33	1424,00	6,96	0,50	-	-
34	883,00	7,11	0,50	-	-
35	81,00	6,20	0,50	667,00	5,79



Cont.da Tabela 05: Resultados obtidos das lagoas da primeira campanha 2002

Lagoa	Água subsuperficial			Água superficial	
	CE ( S/m)	pH	NA (m)	CE (µS/m)	pH
36	117,00	6,48	0,55	181,00	5,90
37	161,00	6,50	0,65	662,00	6,80
38	666,00	6,55	0,36	531,00	6,72
39	362,00	6,10	0,33	173,00	6,07
40	444,00	5,51	0,10	-	-
41	534,00	6,37	0,40	360,00	7,27
42	774,00	6,39	0,55	474,00	6,28
43	1885,00	6,54	2,30	-	-
44	Lagoa seca			-	-
45	3180,00	7,58	0,90	-	-
46	175,00	5,85	2,90	420,00	6,73
47	3260,00	7,52	2,10	-	-
48	779,00	6,55	1,40	-	-
49	30,00	6,35	1,60	-	-
50	2160,00	7,26	0,40	-	-
51	191,00	6,59	1,72	-	-
52	98,00	6,48	0,80	-	-
53	288,00	6,37	0,46	-	-
54	420,00	6,53	1,60	469,00	6,80
55	512,00	6,61	0,47	1070,00	7,86
56	1505,00	7,06	0,75	1505,00	6,90
57	204,00	6,69	0,86	-	-
58	177,00	6,72	0,44	-	-
59	394,00	6,68	0,50	-	-
60	307,00	6,07	0,80	-	-
61	392,00	6,60	2,60	-	-
62	5540,00	9,14	0,70	-	-
62a	98,00	7,14	1,90	-	-
63	233,00	6,84	1,05	-	-
64	Lagoa seca			-	-
65	84,00	7,11	1,40	-	-
65a	392,00	7,27	1,24	-	-
66	514,00	6,56	1,20	-	-
67	336,00	6,20	1,30	-	-
68	375,00	6,88	1,20	-	-
69	737,00	6,74	1,43	-	-
70	1588,00	7,15	1,12	-	-
71	382,00	6,37	1,42	-	-
72	450,00	6,74	1,60	-	-
73	1462,00	7,10	2,70	-	-
74	1104,00	6,44	-	-	-
75	166,00	6,39	-	-	-
76	1104,00	6,40	-	-	-
77	184,00	6,06	-	-	-



As lagoas com **pH abaixo de 6,5** (Gráfico 01), variam de um intervalo de pH de 5,51 para 6,50, e no diagrama apresentam-se espalhados e com uma linha de tendência de correlação entre os valores de pH e CE obtidos ( $R^2$ ) com um baixo valor (0,0006). Quanto menor o seu valor, menor a correlação entre os eixos X e Y (CE e pH no caso), o valor ideal é o que mais se aproxima de 1,0.

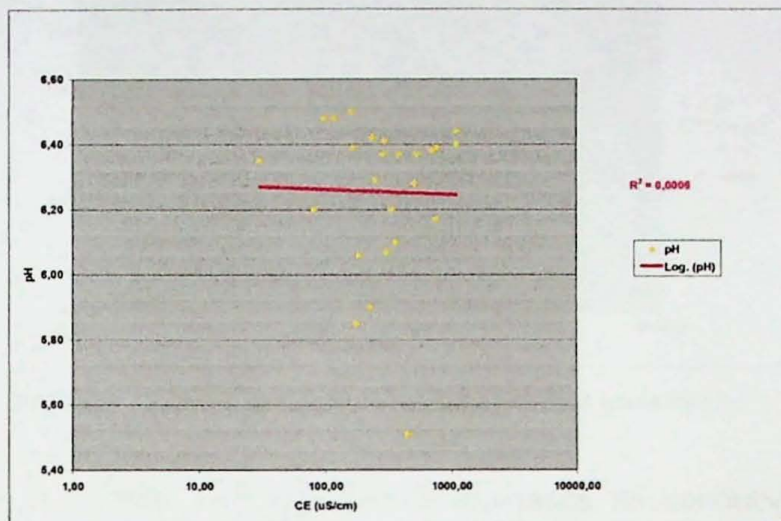


Gráfico 01: Diagrama de correlação das lagoas com pH acima de 6,5

Outras lagoas com intervalo de **pH entre 6,5 e 7,0** (Gráfico 02) também demonstram sua linha de tendência de correlação dos dados ( $R^2$ ) com um valor baixo (0,0005), ainda menor que o descrito acima apesar de seu pH variar num intervalo de 6,51 a 6,96.

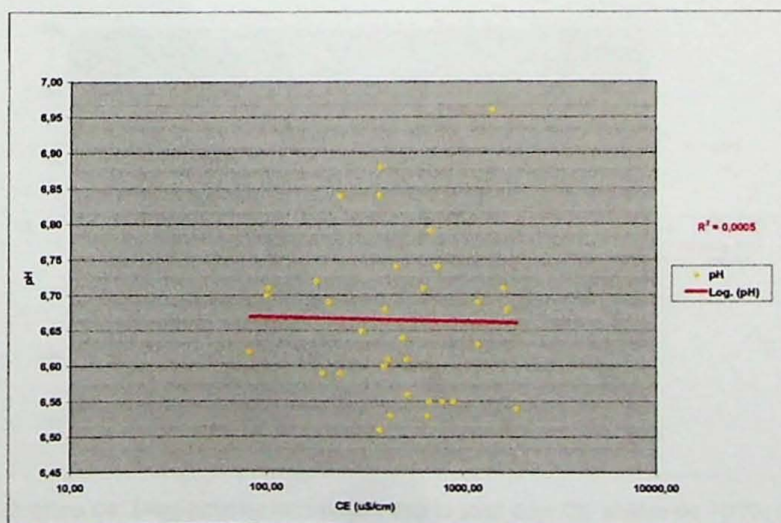


Gráfico 02: Diagrama de correlação das lagoas com pH entre 6,5 e 7,0.



As lagoas com **pH acima de 7,0** (Gráfico 03) que apresentam pH variando de 7,06 a 9,87, demonstram que a correlação entre pH e CE ( $R^2$ ) apresenta um valor bem mais elevado (0,5108) em comparação com os demais intervalos de pH determinados anteriormente.

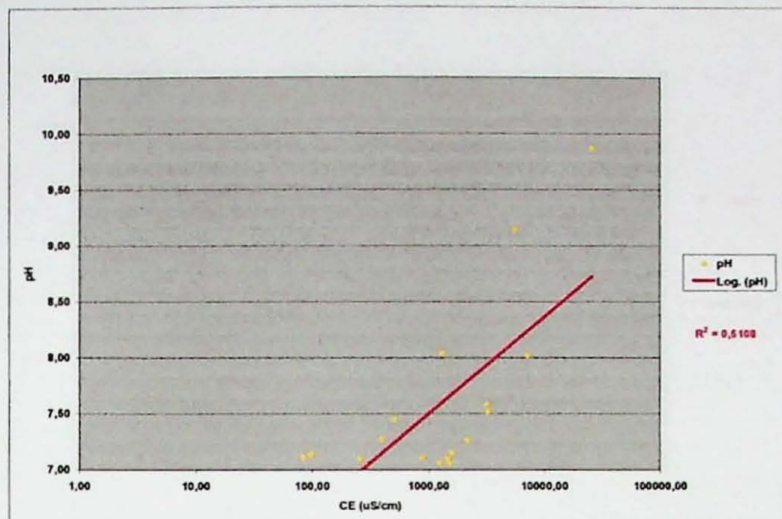


Gráfico 03: Diagrama de correlação das lagoas com pH acima de 7,0.

Nos intervalos pré-determinados de condutividade elétrica os valores das linhas de tendência são bem similares aos apresentados nos intervalos de pH.

Para as lagoas com valores de condutividade que se encontram no intervalo **abaixo de 1000 µS/cm** (Gráfico 04), esse valor variou de 30 a 883 µS/cm com a linha de tendência ( $R^2$ ) de correlação entre valores de pH e CE apresentando valor de 0,0013.

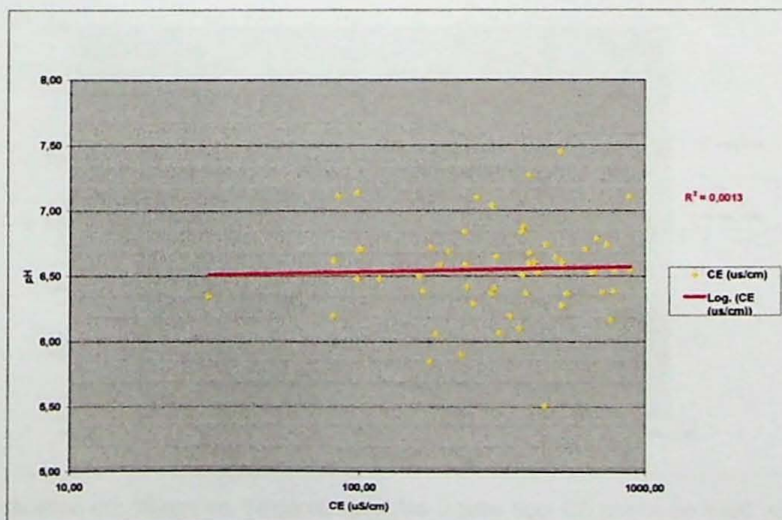


Gráfico 04: Diagrama de correlação das lagoas com CE abaixo de 1000 µS/cm.



Nas lagoas com condutividade **entre 1000e 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$**  (Gráfico 05), os valores de CE variaram de 1104 a 1885  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , sua linha de tendência ( $R^2$ ) indica uma correlação ainda baixa de 0,0079, pouco acima do intervalo acima.

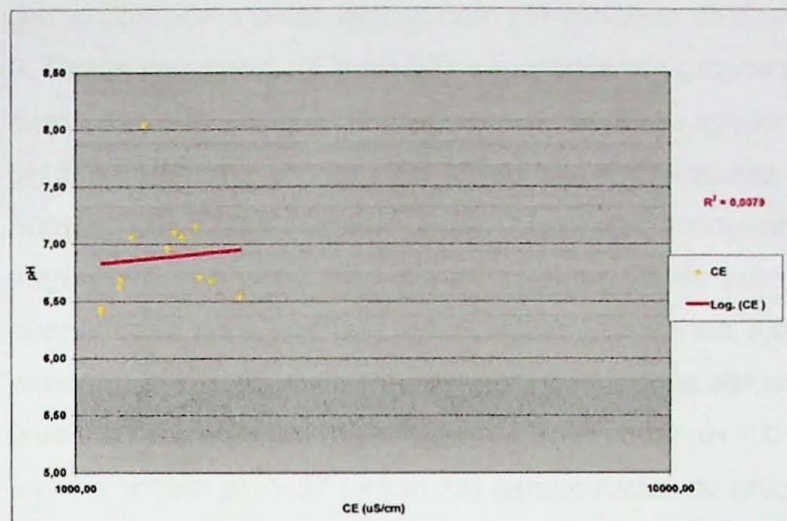


Gráfico 05: Diagrama de correlação das lagoas com CE entre 1000 e 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

No último intervalo (Gráfico 06), o composto por lagoas com condutividade elétrica **acima de 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$** , apesar dos valores variarem de 2160 a 25400  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , a linha de tendência ( $R^2$ ) apresenta a maior correlação entre os valores de pH e CE de todos os gráficos (0,8026).

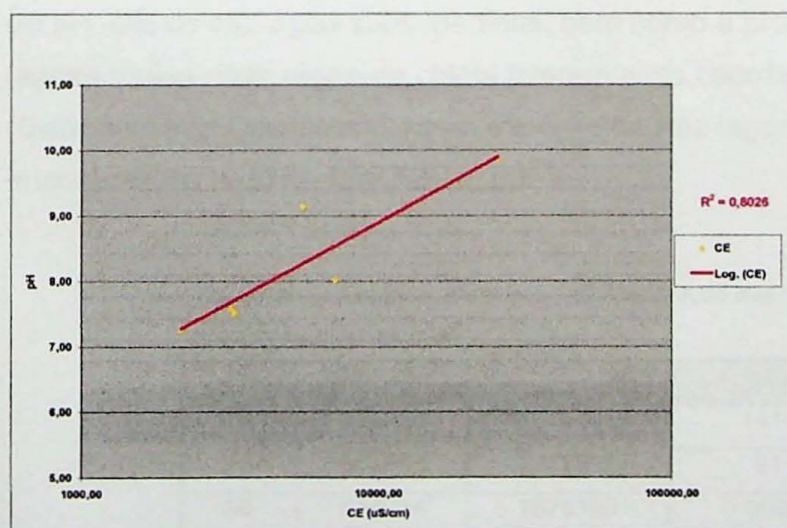


Gráfico 06: Diagrama de correlação das lagoas com CE acima de 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

A classificação das lagoas quanto sua alcalinidade levou em conta os dados de pH de água de subsuperfície e da CE, apesar de disponíveis os dados de pH de água superficial, eram poucos e, portanto pouco diagnósticos



Os valores de pH obtidos em águas de subsuperfície variaram de 5 a aproximadamente 9, sendo então separados em três grupos com intervalo de uma unidade, sendo o primeiro grupo composto pelas lagoas com pH variando de 5 a 6, o segundo de 7 a 8, e o último de 8 a 9. Esses resultados (Figura 02) separados em grupos permitem propor a seguinte classificação com base nos valores : O grupo considerado de águas subsuperficiais ligeiramente ácidas, com pH 5 a 6 denominado de **Não Alcalinas**, cujos valores em campo de pH oscilam de 5,51 (lagoa número 40) a 6,96 (lagoa número 33), este contingente compreende um total de 58 lagoas. O segundo grupo possuindo pH de suas águas de subsuperfície oscilando na faixa entre 7 a 8 denominado de grupo de Lagoas **Alcalinas**, sendo 7,04 (lagoa 56) e 7,58 (lagoa 45) os limites encontrados, compondo total de quatorze lagoas estudadas e, o último grupo com pH entre 8 e 9 sendo uma com pH 8,02 (lagoa 01), uma com pH 8,04 (lagoa 29), uma com pH 9,14 (lagoa 62) e a maior com pH 9,87 (lagoa 28) denominadas de grupo de Lagoas **Hiperalcalinas**, compondo um total de quatro lagoas. No contingente de 77 lagoas apesar de três não terem dados de pH (estavam secas), o número de lagoas amostradas foi de 76 sendo que duas lagoas distintas (lagoas 62 e 65) apresentam duas medidas cada por serem praticamente “grudadas” uma em outra. Dessas o domínio pertence às não alcalinas, as alcalinas são relativamente comuns (total de quatorze) e as hiperalcalinas exemplos raros (quatro casos).

## População II

Este grupo é composto por um total de 41 lagoas. Para todas foram amostrados dados de pH, CE de sua água subsuperficial, bem como a profundidade de amostragem. Todas as lagoas dessa nova etapa de coleta tiveram suas coordenadas obtidas em campo por GPS (Garmim Etrex Adventure II) com exceção de três lagoas (99, 100 e 111). Os resultados obtidos encontram-se plotados na Tabela 06.

*Tabela 06 Dados físico-químicos e de localização das lagoas amostradas na nova campanha de 2003*

Lagoa	LAT, Utm	LONG, Utm	CE (µS/cm)	pH	NA (m)
78	544280	7877433	1410	7,13	0,45
79	544486	7877661	91	6,06	1,3
80	544934	7878190	959	6,71	2,25
81	544912	7876798	1680	8,16	1
82	544309	7876071	1250	8,47	0,3
83	543571	7877552	319	7,5	0
84	541588	7881665	767	8,64	0
85	542995	7877245	358	7,66	0



*Cont. Tabela 06: Dados físico-químicos e de localização das lagoas amostradas na nova campanha de 2003*

Lagoa	LAT, Utm	LONG, Utm	CE ( $\mu\text{S/cm}$ )	pH	NA (m)
86	542697	7875862	460	5,9	-
87	542745	7875545	535	6,47	1,3
88	541354	7874911	3300	8,4	0,6
89	541271	7876412	320	6,68	0
90	535364	7899229	184	6,1	2
91	549457	7885018	247	6,4	1,27
92	542419	7877666	400	6,27	1,45
93	536301	7899731	1078	6,78	1
94	543605	7878026	2620	8,84	0
95	543605	7878026	662	7,06	1
96	537119	7899908	763	6,7	1,02
97	542009	7882253	616	7,87	0
98	542317	7885458	3890	9,25	1,1
99	-	-	13020	9,59	0
100	-	-	931	6,9	0
101	539878	7883488	1233	8,4	1
102	543174	7902353	421	7,9	0
103	550486	7910172	29	7,8	0
104	549764	7909577	95	8,33	0
105	549377	7903106	3952	9,7	0
106	542858	7899838	220	5,38	0,4
107	541762	7899894	610	7,64	0
108	541762	7899894	524	6,41	0,75
109	499548	7871679	4621	9,75	0
110	498605	7871653	816	8,26	0
111	-	-	57	7,1	0
112	475812	7870100	37	5,91	0
113	495187	7871263	203	6,95	0
114	494025	7870476	110	6,97	0
115	539894	7903541	68100	9,68	0
116	537579	7896654	1361	6,82	1,2
117	538129	7898700	1005	7,01	1,2
118	539957	7900554	1150	6,9	0,8

No intuito de serem comparados de forma adequada, ambos grupos de populações como demonstrado na metodologia, foram aplicados os mesmos procedimentos e tratamento de dados nesta população de modo similar ao realizado na população do Grupo I. Este procedimento visa estabelecer as relações de salinidade e alcalinidade obtida com os



resultados dos dados físico-químicos os quais foram tratados em diagramas de correlação com a mesma base das lagoas da população I, e obedecendo os mesmos valores de intervalo inicialmente indicados de pH e CE.

A seguir serão apresentados os diagramas de correlação entre fatores obtidos desse grupo de lagoas, através da correlação de seus dados.

As lagoas que apresentam **pH abaixo de 6,5** (Gráfico 07) variaram de um valor de 5,38 a 6,47, com sua linha de tendência ( $R^2$ ) igual a 0,1514, indicando ser este valor pouco significativo quanto a uma correlação importante a ser estabelecida entre os valores de pH observados neste caso com os valores de CE obtidos neste conjunto de lagoas.

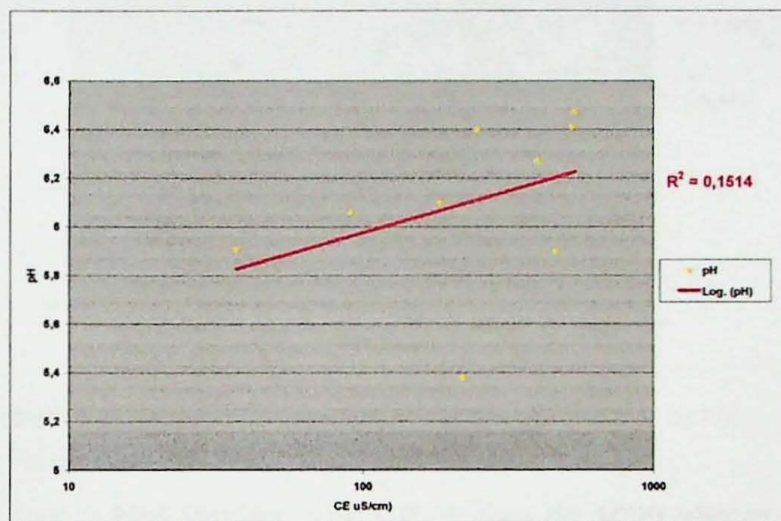


Gráfico 07: Diagrama de correlação das lagoas com pH abaixo de 6,5.

No Gráfico 08 é possível observar a distribuição das lagoas com **pH entre 6,5 e 7**, sendo 6,68 o pH mais baixo e 6,97 o mais alto. A linha de tendência ( $R^2$ ) aponta para um valor também considerado baixo de correlação 0,1649, muito próximo ao intervalo citado acima.

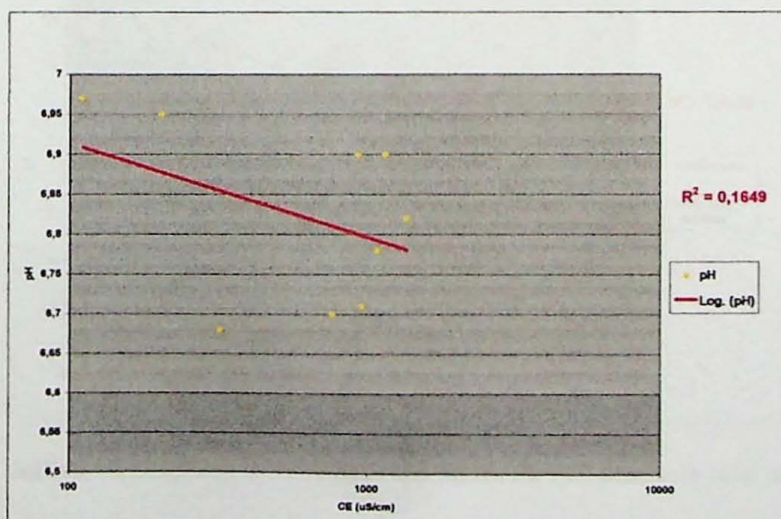


Gráfico 08: Diagrama de correlação das lagoas com pH entre 6,5 e 7,0.



As lagoas com **pH acima de 7**, tiveram seus valores variando entre 7,02 e 9,75 conforme é possível observar no Gráfico 09. Sua linha de tendência de correlação entre os valores de pH e CE obtidos ( $R^2$ ) demonstra um valor mais alto que os demais intervalos desta mesma população, sendo igual a 0,4099.

Este valor é mais baixo que o valor obtido no mesmo intervalo da população I, embora seja o maior valor obtido em todos  $R^2$  dessa população.

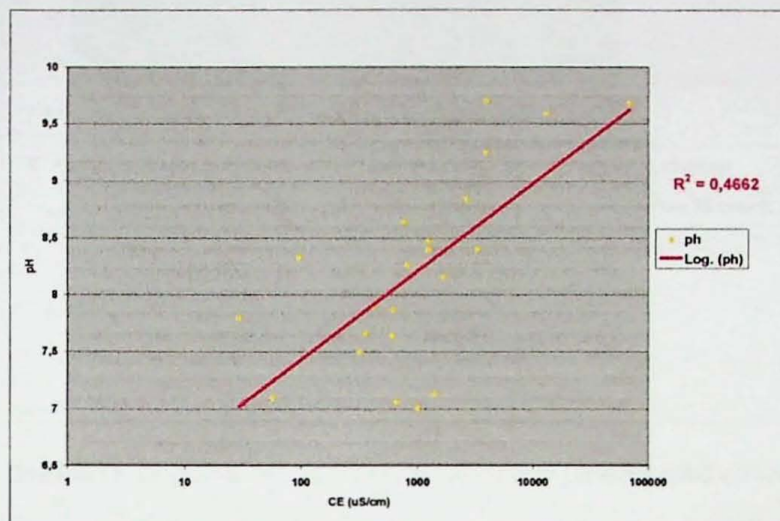


Gráfico 09: Diagrama de correlação das lagoas com pH acima de 7,0.

Nas lagoas com **CE abaixo de 1000  $\mu\text{S/cm}$**  (Gráfico 10) os valores variaram de 29 a 959  $\mu\text{S/cm}$ , e apesar do grande número de lagoas nesse intervalo, a linha de tendência e de correlação entre os fatores físico-químicos ( $R^2$ ) apresentou valor exato de 0,0236.

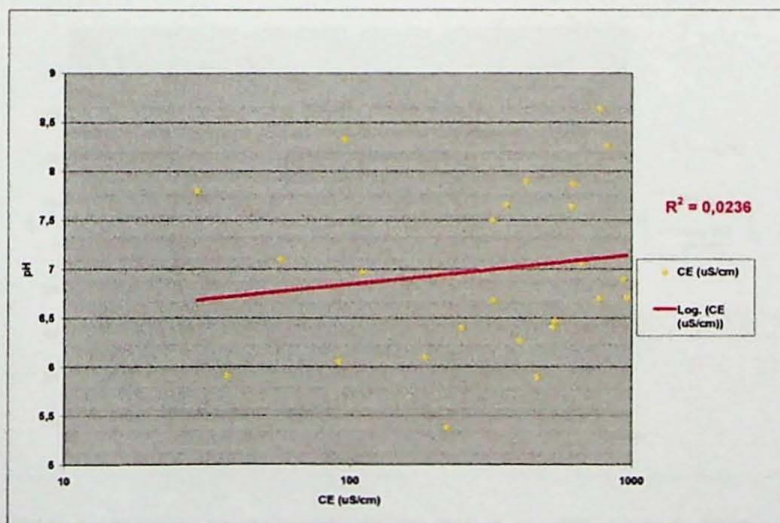


Gráfico 10: Diagrama de correlação das lagoas com CE abaixo de 1000  $\mu\text{S/cm}$ .



No agrupamento das lagoas que compreende o intervalo de CE entre 1000 e 2000  $\mu\text{S/cm}$  os valores obtidos em campo variaram de 1005 a 1680  $\mu\text{S/cm}$ , com uma linha de tendência ( $R^2$ ) de correlação entre esses fatores apontando um valor ainda baixo de 0,1653 (Gráfico 11).

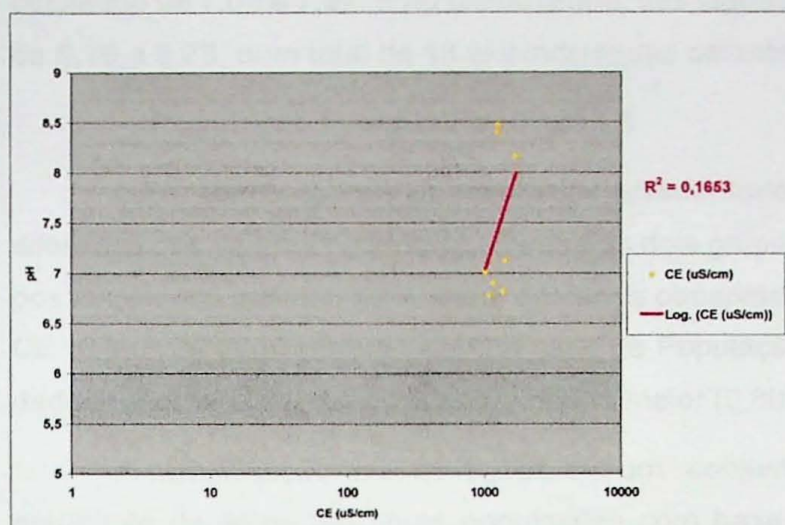


Gráfico 11: Diagrama de correlação das lagoas com CE entre 1000 e 2000  $\mu\text{S/cm}$

O ultimo agrupamento compreendido pelo intervalo de lagoas, as com **CE acima de 2000  $\mu\text{S/cm}$** , apresentou como resultados de campo valores extremos de 2620 e 68100  $\mu\text{S/cm}$ . A linha de tendência ( $R^2$ ) de correlação entre os valores de pH e CE apresentada (Gráfico 12), indica um valor de 0,252 apesar da variação da CE ser muito grande.

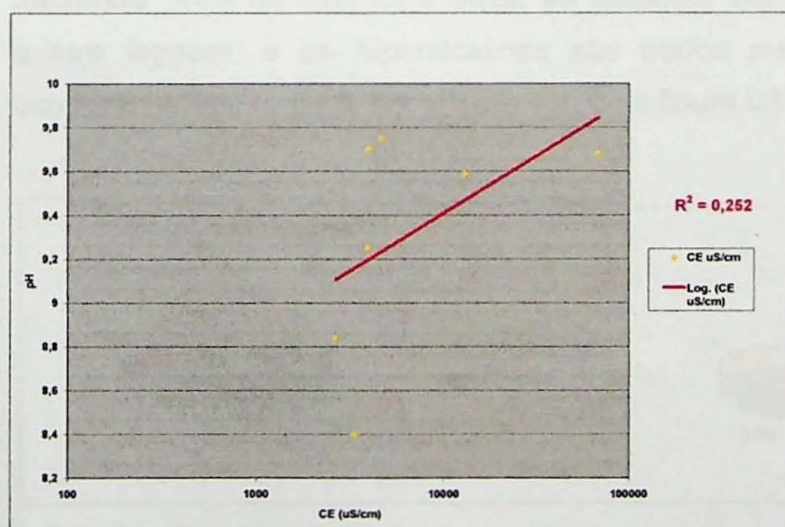


Gráfico 12: Diagrama de correlação das lagoas com CE acima de 2000  $\mu\text{S/cm}$ .

Neste agrupamento de lagoas os valores de pH obtidos no campo variaram de 5 a mais de 9. A separação em grupos, segundo seus valores de pH delimitou a seguinte configuração



(Figura 02): o grupo de **Não Alcalinas** cujos valores de pH obtidos no campo oscilaram de 5,38 a 6,97 totalizou 18 lagoas. O segundo grupo, o de lagoas **Alcalinas** totalizou 10, com valores oscilando de 7,01 a 7,97. E no último grupo, das lagoas **Hiperalcalinas** obteve-se uma variação de 8,16 a 9,75, num total de 13 exibindo essas características.

### População I versus População II

Em termos gerais os resultados apresentados pelos gráficos não demonstram muita diferença nos valores obtidos de  $R^2$  entre os dois grupos de populações, apesar da População II possuir menos indivíduos. A única diferença observada entre elas é a relação das lagoas com **CE acima de 2000  $\mu\text{S/cm}$** , que no caso da População I apresentou uma correlação entre os dados de pH e CE ( $R^2$ ) consideravelmente maior (0,8026).

A classificação dessas lagoas em um conjunto geral de 117 amostradas (Figura 03), resultante da soma das duas populações com base em seus pHs, pode ser distribuído da seguinte forma: Grupo das **Não Alcalinas** formado por 76 lagoas, cujos valores obtidos variaram de 5,38 (lagoa número 106) a 6,97 (lagoa114). O segundo grupo denominado de **Alcalinas** com um total de 24 lagoas, com valores de pH oscilando de 7,01 (lagoa 117) a 7,9 (lagoa 102). O terceiro e último grupo, o das **Hiperalcalinas** com valores de pH obtidos em campo que variaram de 8,04 (lagoa 29) a 9,75 (lagoa109), totalizando 17 lagoas. O domínio das lagoas amostradas da região da Nhecolândia pertence ao grupo das **não alcalinas** (total de setenta e seis), as alcalinas são relativamente comuns (total de vinte e quatro lagoas), e as hiperalcalinas são pouco mais raras que as alcalinas (dezessete ocorrências) como pode ser visualizado pela figura 03.

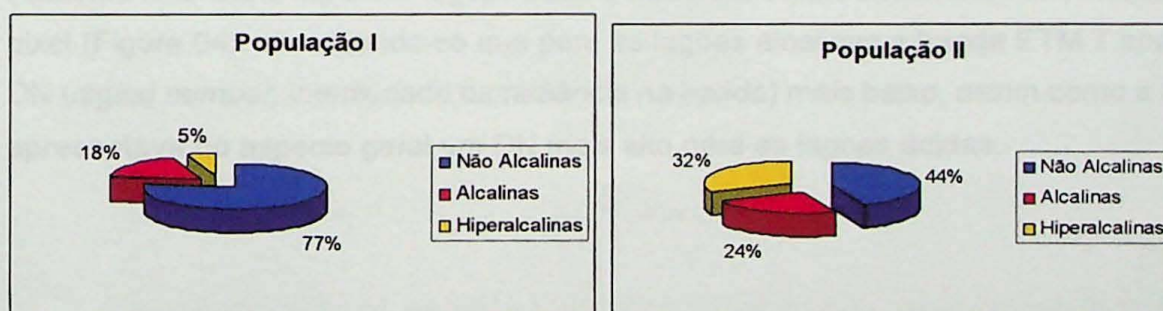


Figura 02: Distribuição das lagoas de ambas populações por valores de alcalinidade.



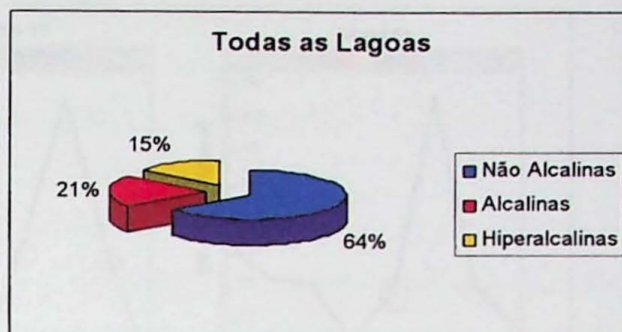


Figura 03: Distribuição de todas as lagoas por valores de alcalinidade.

### C. Sensoriamento Remoto

A compreensão do funcionamento da alcalinidade e dos valores de CE com sua conseqüente salinização das lagoas da Nhecolândia passa pela visualização de seus principais elementos geomorfológicos: corpos d'água, vazantes, influência da biota envolvida nas cordilheiras e da morfologia das cordilheiras que as circundam, sendo algumas relacionadas às características físico-químicas de suas águas.

Foi escolhida a imagem ETM (satélite Landsat 7) de 29.09 de 2002 pela proximidade da data de coleta de dados das primeiras 77 lagoas, realizada entre 6 e 14/10/2002. Esta imagem é *fonte de informação* para se tentar obter relações entre a alcalinidade e salinidade das lagoas e sua resposta espectral, bem como de suas relações com a vegetação e cordilheiras.

Inicialmente a imagem foi impressa e tratada em composição colorida em cores naturais (bandas ETM 3, 2, 1 em RGB (vermelho, verde e azul) para orientar a leitura de *pixel* no ER Mapper (radiância em todas as bandas do espectro refletido). O enfoque foi nas lagoas da Fazenda Nhumirim, algumas lagoas ácidas e básicas conhecidas foram submetidas à leitura de pixel (Figura 04), observando-se que para as lagoas alcalinas a banda ETM 7 apresentava um DN (*digital number*, intensidade da radiância na banda) mais baixo, assim como a banda ETM 5 apresentava no aspecto geral um DN mais alto para as lagoas ácidas.

Figura 04: Imagem colorida da Lagoa 140, 141 e 142, ETM Landsat 7 de 29.09.2002.

Para observação de algumas diferenças no desenvolvimento da vegetação ao redor das lagoas, a imagem serviu de comparação com a outra imagem do satélite ETM Landsat 7 de 18.04 de 2001, por registrarem as duas épocas distintas da região (chuvoso e seco) em pouco mais de um ano. Diferenças como torção no isolamento e desmatamento de lagoas, sendo na estação na estação da seca, com formação de praias foram observadas em composições coloridas das bandas do sensor ETM (B3, B2 e B1) em canais RGB (Figuras 05 e 06- Anexo).



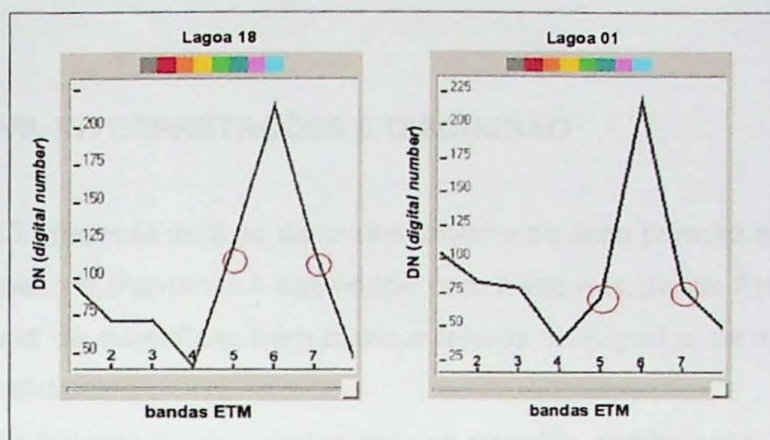


Figura 04: Gráficos de leitura de pixels de lagoas ácidas (18) e alcalinas (01).

Portanto com bases nesses dados foi composta uma imagem (Figura 05) colorida falsa-cor de três razões de bandas do sensor ETM,  $\{(4/3); (7/5); (2/1)\}$  em RGB. Na imagem algumas das características dos corpos d'água estão realçados, em azul escuro observa-se água das lagoas mais ácidas, em verde claro as lagoas alcalinas, as vazantes de cian e as cordilheiras com vegetação de amarelo. Nota-se que grande parte das lagoas em verde apresentam um pequeno espriamento e estão completamente protegidos pelas cordilheiras.

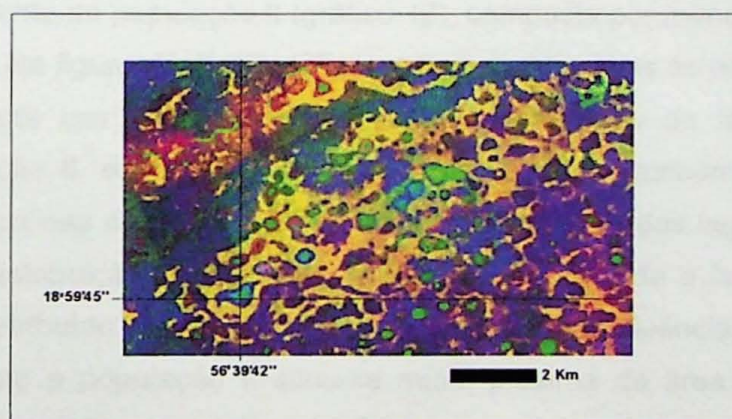


Figura 05: Imagem colorida  $\{(4/3); (7/5); (2/1)\}$  ETM Landsat de 29/09/2002

Para observação de algumas diferenças no desenvolvimento da vegetação ao redor das lagoas, a imagem serviu de comparação com a outra imagem de satélite ETM Landast 7 de 18.04 de 2001, por representarem as duas épocas distintas da região (cheia e seca) em pouco mais de um ano. Diferenças como tendência ao isolamento e desaparecimento de lagoas salinas na estação na estação da seca, com formação de praias foram observadas em composições coloridas de bandas do sensor ETM (B3, B2 e B1) nos canais RGB. (Figuras 8 e 9- Anexo).



## VII. INTERPRETAÇÕES E DISCUSSÃO

O presente estágio de conhecimento da área permite associar o controle da alcalinidade das lagoas do Pantanal à salinidade com base nos dados físico-químicos de pH e CE obtidos nas águas de superfície, bem como a fatores conjugados de morfologia, hidrologia, vegetação e sazonalidade.

O tratamento dos dados obtidos permitiu estabelecer uma relação de pH e CE para as diferentes classes de lagoas considerando-se as duas populações analisadas neste trabalho. Através dos valores das linhas de tendência (diagramas de correlação entre os fatores pH e CE), obtidos nos gráficos, foi possível determinar que para as lagoas ácidas (pH abaixo de 7,0) de ambas populações há pouca correlação observada entre salinidade e alcalinidade. As lagoas com pH acima de 7,0 demonstram outra tendência: na população I em mais de 50% dos casos a alcalinidade está relacionado com a salinidade, o mesmo ocorre, embora com menor valor (~41%), para as lagoas da população II. A relação salinidade *versus* alcalinidade pode ser determinada através do gráfico 6, indicando que mais de 80% das lagoas alcalinas da população I apresentam salinidade acima de 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , relação não observada tão claramente na população II (gráfico 12), composta por menos lagoas.

Na figura de distribuição das lagoas de ambas as populações (Figura 02), a população I apresenta um número de aproximadamente 70% de lagoas não alcalinas, enquanto na população II, esse valor é de 44%, dessa forma também a distribuição no grupo de lagoas hiperalcalinas é bem distinta, pois na I elas são 5% das lagoas enquanto na II, compõem 32%. Essa distribuição bem distinta pode estar relacionada a fatores da geomorfologia e hidrologia local, atribuído ao fato da população I sofrer influência direta do Leque do Rio Taquari, enquanto a população II situa-se muito próxima da área de influência do Rio Paraguai. No entanto, verifica-se na População II que as lagoas hiperalcalinas, com valores próximos ou ligeiramente acima de 8 para o pH, exibem CE que varia de 95 a até cerca de 3300  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Deixando claro que não exibem relação direta entre a salinidade e sua alcalinidade. No entanto, na leitura da tabela da população II verifica-se que as lagoas com CE próxima ou acima de 4000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  exibem alcalinidade de 9 ou acima de, para os valores de pH. Parece que o limite de salinidade dado pela CE está marcado no valor de 4000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e nestas lagoas hiperalcalinas os valores de pH situam-se na casa dos 9 ou acima de 9 para o pH.

As imagens trabalhadas em sensoriamento remoto permitem relacionar em maior escala a relação da morfologia e hidrologia com a cobertura vegetal das cordilheiras ao redor das lagoas. As composições obtidas permitem observar as lagoas ácidas quase sempre no raio de



ação das águas das vazantes, devido à pouca cobertura vegetal ao redor, não as protegendo das inundações sazonais. As lagoas alcalinas, ao contrário, situam-se sempre protegidas pelas cordilheiras com abundante cobertura vegetal, impedindo a invasão das águas das vazantes. Na época mais seca, a perda d'água deixa exposta pequena praias em torno delas em geral de forma circular, já que a salinidade impede o crescimento da vegetação. As cordilheiras em torno das lagoas estão preenchidas por cobertura vegetal, compostas por vegetação arbóreo-arbustiva, incluindo palmáceas como Bocaiúvas (*Copernicia Alba* Morang.) e Carandás (*Acrocomia sclerocarpa* Mart), sendo essas últimas sempre associadas ao entorno de lagoas alcalinas, conforme observadas em campo.

Através de todos resultados obtidos podemos associar a distribuição e distinção de pH ao efeito das cheias, após as quais, as lagoas mais rasas em relação à topografia regional, perdem sua água de superfície, enquanto as mais profundas, em geral alcalinas e salinas, mantém-se. Com a continuidade da estiagem, as lagoas alcalinas perdem água por evaporação aumentando a salinidade e criando ambiente propício para infestação de algas diversas; persistindo a estiagem, o nível das águas desce, expondo o fundo dos lagos coberto por matéria orgânica e por sais. As lagoas protegidas pelas "cordilheiras" íntegras, com cobertura vegetal arbórea, pouco são influenciadas pelas vazantes (controle hidrológico, com afluxo de água não alcalina). Com a estiagem prolongada ocorre a precipitação da matéria orgânica e sais dissolvidos. A concentração destes tende a aumentar nos períodos climáticos, onde a estação de seca é mais agressiva, levando estas lagoas a aumentarem sua alcalinidade e o seu conteúdo de solutos (sais bicarbonatados de sódio, magnésio etc) conforme apresenta a tabela 4, no qual os valores de potássio e sódio na época de estiagem nas salinas (novembro/79, agosto/80) atingem valores até vinte vezes maiores que as lagoas de água doce na mesma época.

As lagoas alcalinas têm seu fundo mais profundo e impermeável, protegendo-as da variação do lençol freático, como descrito em BARBIERO et al. (2002). O substrato destas lagoas é constituído de areia muito fina, em parte de origem eólica, em conjugação com areias fluviais. Estas possuem composição predominantemente silicática (quartzo). Tal material submetido a condições de pH demasiadamente alcalino (pH de 8,04 a 9,75) nas lagoas Hiperalkalinas permite que tais materiais venham a ser solubilizados e conseqüentemente lixiviados, explicando assim a maior profundidade destas lagoas quando comparadas com as que não são alcalinas/hiperalkalinas. Com a invasão por águas ácidas, por oscilação sazonal do lençol freático e ação das vazantes, ocorreria acidificação e assoreamento parcial de uma dada lagoa alcalina, alterando seu equilíbrio ecológico ao acidificar e alcalinizar as águas e diminuir o gradiente topográfico do fundo das lagoas ao topo das cordilheiras. Este desequilíbrio incluiria as cordilheiras e sua vegetação, a qual perderia seus indivíduos arbóreos, tornando



toda a cordilheira sujeita à erosão pelas águas de chuva e à inundação, processos que terminariam por assorear mais as antigas lagoas. Ao fim do processo, restariam apenas áreas circulares de solo e umidade diferenciada em meio às vazantes.

## VIII. CONCLUSÕES

- As lagoas não alcalinas resultam da ação das vazantes, sempre renovando suas águas, principalmente no período de maior precipitação pluviométrica da área estudada;
- Lagoas alcalinas estão sempre cercadas por cordilheiras com cobertura vegetal. Em lagoas hiperalcalinas é notável a freqüência com que ocorrem as variedades arbóreas de Carandás contornando sua periferia;
- Os diagramas de correlação aplicados às lagoas ácidas não apresentaram nenhuma indicação de correlação entre alcalinidade e salinidade (pH e CE);
- As lagoas que exibem certa salinidade e com condutividade elétrica acima 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  são quase exclusivamente alcalinas (ou seja, seus valores de pH são sempre superiores a 7);
- Mais da metade das lagoas alcalinas estudadas tem seu pH relacionado diretamente com sua salinidade. Parece que a indicação de salinidade das lagoas hiperalcalinas encontra-se demarcado nos valores acima de 4000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  como discutido no texto e demonstram os dados obtidos na população II.
- As lagoas alcalinas/hiperalcalinas tendem a um aumento de profundidade, causado pela solubilização e conseqüente lixiviação da sílica do seu fundo, devido ao alto valor de pH atingindo pela água na época de estiagem.
- As vazantes das Bacias Hidrográficas dos Rios Paraguai e Taquari apresentam comportamentos distintos, podendo influenciar na alcalinidade das lagoas, através de suas vazantes.



## IX. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SABER, A.N. 1988. O Pantanal Mato-grossense e a teoria dos refúgios. Ver. Brás. de Geografia., 50:9-57, Tomo 2.
- ALMEIDA, F.F.M., Lima, M.A. 1959. Planalto Centro-Occidental e Pantanal Mato-Grossense. In: União Geográfica Internacional, XVIII Cong. Internacional de Geografia, 169 p., Rio de Janeiro.
- ALMEIDA, T.I.R., SÍGOLO, J. B., FERNANDES, E., NETO, J.P. DE Q., BARBIERO, L., SAKAMOTO, A.Y. 2003. Proposta de classificação e gênese das lagoas da baixa Nhecolândia-MS com base em sensoriamento remoto e dados de campo. Revista Brasileira de Geologia, volume temático de geotecnologias (33) 4, no prelo.
- BARBIÉRO L., QUEIROZ NETO J.P., CIORNEI G., SAKAMOTO, A., FERNANDES, E., CAPELLARI B., VALLES V. 2002. Geochemistry of water and groundwater in the Nhecolândia, Pantanal of Mato Grosso, Brazil. Variability and associated processes. Wetlands, vol.22, n. 3, September, p.528-540.
- BARBIÉRO L., QUEIROZ NETO J.P., CIORNEI G., SAKAMOTO A., CAPELLARI B. 2000. Geoquímica das águas de superfície e dos lençóis freáticos da Nhecolândia, Pantanal de Mato Grosso (MS, Brasil). In: III Simpósio sobre Recursos Naturais e Sócio-econômicos do Pantanal. Corumbá, 27 a 30 novembro, Anais.
- BRASIL, 1982. Geologia da folha SE 21 Corumbá. Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da Terra. Levantamento de Recursos Naturais. RADAMBRASIL, Min. Das Minas Energia, 27, 448pp. Brasília.
- BRAUN, E. H. G. 1977. Cone Aluvial do Taquari, unidade geomórfica marcante na planície quaternária do Pantanal. RBG. 39 (4): 164-180.



- BRUM, P.A.R., SOUSA, J.C. 1985. Níveis de nutrientes minerais para gado, em lagoas ("baías" e "salinas") no Pantanal Sul-Mato-Grossense. . Pesquisa agropecuária brasileira, Brasília, DF. 20 (12):1451-1454.
- BRIVIO, P.A.; GIARDINO, C. E ZILIOLI, E. 2001. Validation of satellite data for quality assurance in lake monitoring applications. The Science of the Total Environment, 268:3-18.
- CAPELLARI, B. 2001. Sensoriamento remoto aplicado ao estudo da dinâmica hidrológica da região da Nhecolândia, Pantanal Matogrossense, MS. FFLCH-USP, 100p., Anexos. Dissertação de Mestrado.
- CHAVEZ, J.R., POT, S. 1976. Calibração radiométrica de imagens multispectrais do Landsat. *Photogrametic Engineering and Remote Sensing*, vol.55, número 9, 1285-1294.
- CUNHA, J., 1943. Cobre do Jaurú e Lagoas alcalinas do Pantanal (Mato Grosso). Departamento Nacional da Produção Mineral, Boletim 6, 54 p.
- FERNANDES, E. 2000. Caracterização dos elementos do meio físico e da dinâmica da Nhecolândia – Pantanal Sulmatogrossense. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas/ Universidade de São Paulo, São Paulo. Dissertação de Mestrado.
- FERNANDES, E.; SAKAMOTO, Y. A .; QUEIROZ NETO, J. P. DE; LUCATI, H. M. & CAPELLARI, B. 1999. Le "Pantanal da Nhecolândia" cadre physique et Dynamique hydrologique. In: Quatrième Conférence Internationale de Géomorphologie. Bologna - Italia, 28-VIII / 3-IX. Suplemento di Geografia Fisica e Dinâmica quaternaria, Comitato Glaciologico Italiano, v. 22, p. 13-21, Torino.
- HAMILTON, S.K.; SIPPEL, S.J. AND MELACK, J. M. 1995. Oxygen depletion and carbon dioxide and methane production in waters of the Pantanal wetland of Brazil. Biogeochemistry, Número:30, pags. 115-141.
- HAMILTON, S.K.; SIPPEL, S.J. AND MELACK, J. M. 1996. Inundation patterns in the Pantanal wetland of South America determined from passive microwave remote sensing. Arch. Hydrobiol. **137**: 1-23, vol. 1.



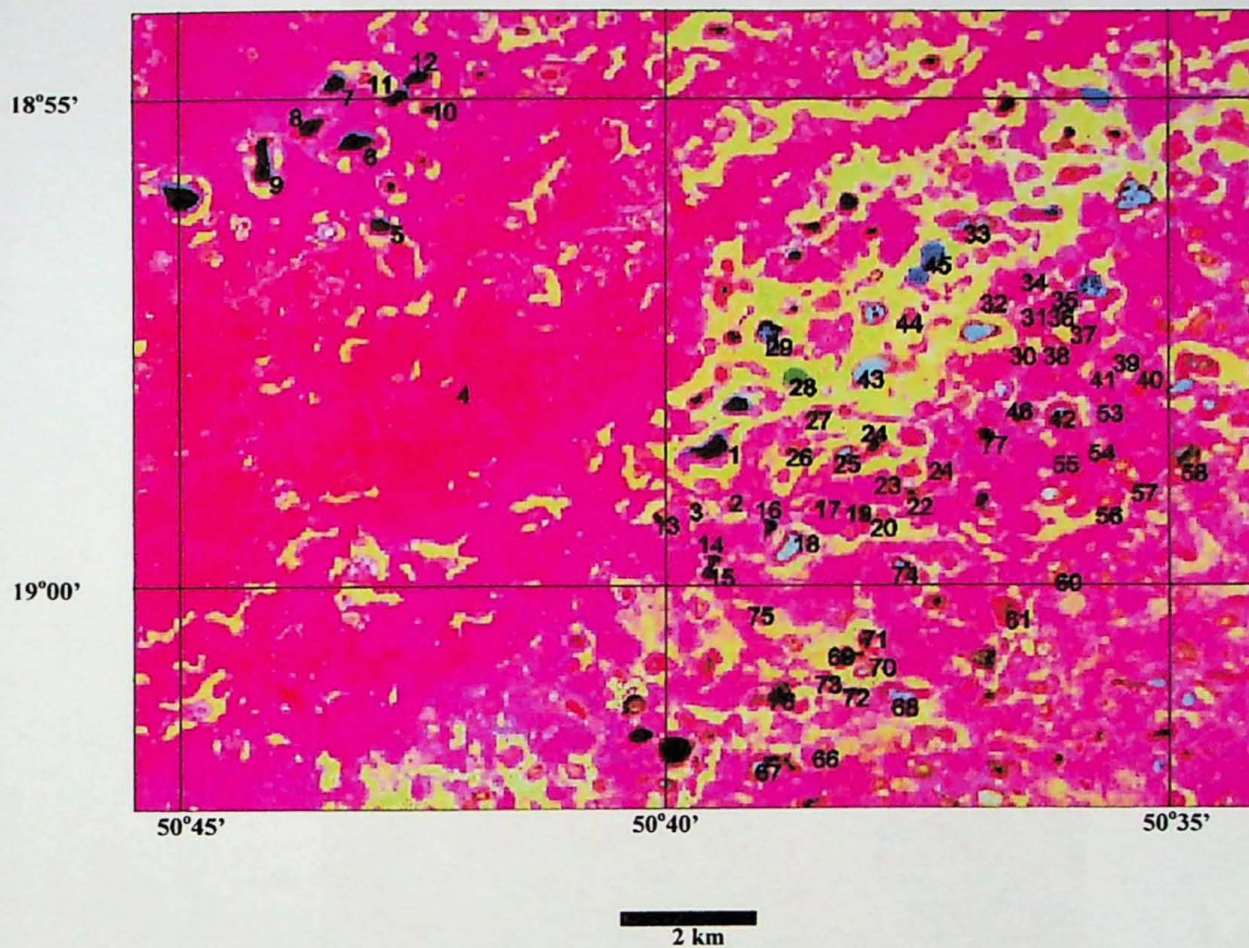
- POTT, E.B.; BRUM, P.A.R.; ALMEIDA, I.L. DE; COMASTRI FILHO, J.A.; DYNIA, J.F. 1987. Nutrição Mineral de Bovinos de Corte no Pantanal Mato-Grossense. Pesquisa agropecuária brasileira, Brasília, DF.
- SÍGOLO, J.B.; ALMEIDA, T.I.R., FERNANDES, E., 2003. Evolução do potencial hidrogeniônico das lagoas da Fazenda Nhumirim – Pantanal da Nhecolândia-MS. Proposta de um modelo geoquímico. A ser apresentado no IX Congresso Brasileiro de Geoquímica, Belem, 02 a 09 de novembro de 2003. Resumo aceito.
- TAVARES FILHO, A. R., BARBIERO, L., FURIAN, S., QUEIROZ NETO, J., P., SAKAMOTO, A. 2003. Variabilidade de salinidade no lençol freático no Pantanal da Nhecolândia, Fazenda Nhumirim-MS, VII Simpósio de Geologia do Sudeste, São Pedro, 21 a 24 de outubro de 2003, Boletim de Resumos.
- VALVERDE, O. 1972. Fundamentos Geográficos do planejamento rural do Município de Corumbá. Revista Brasileira de Geografia, 34(1):49-144, Rio de Janeiro.



## X. ANEXOS

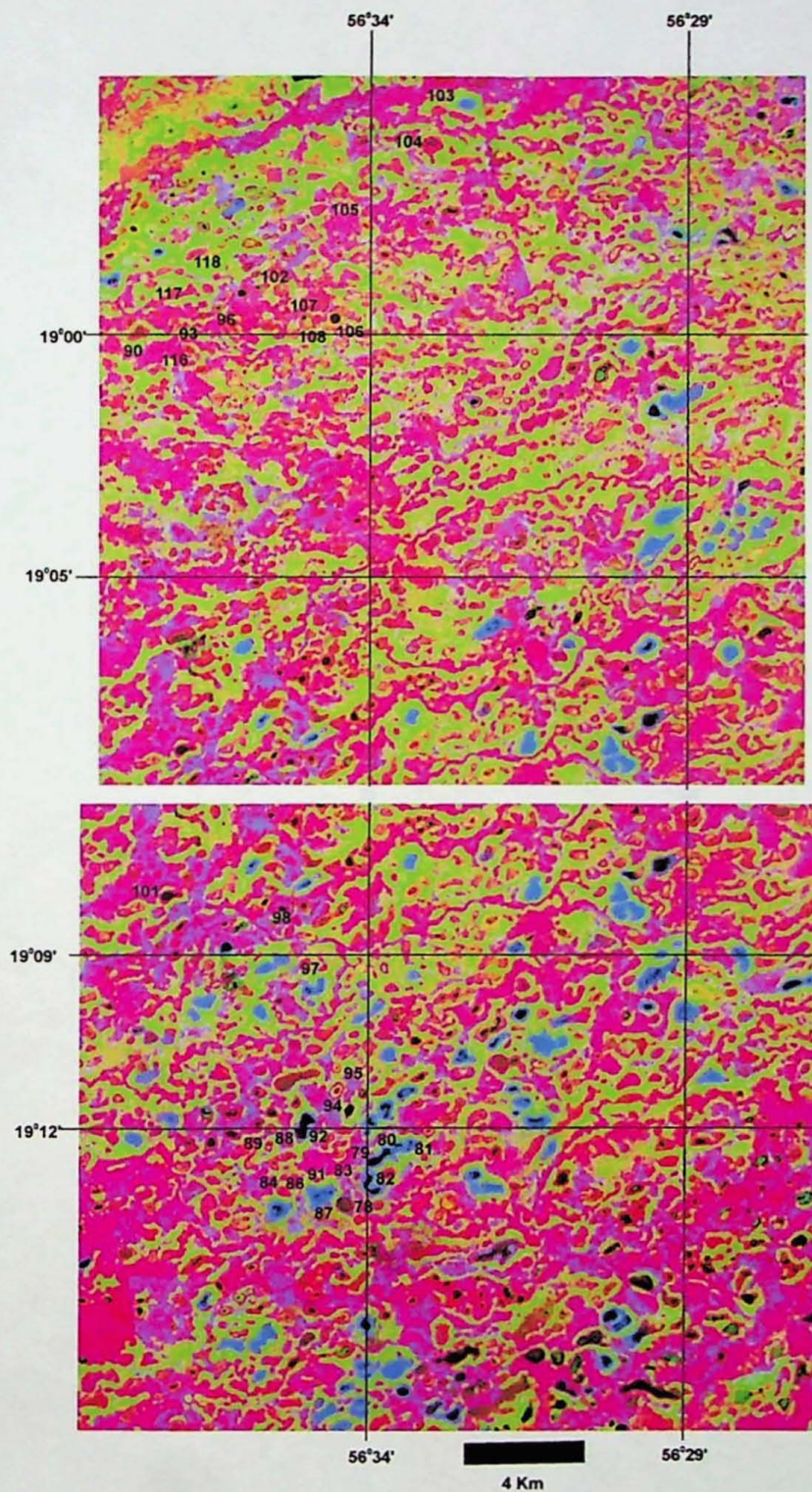
Figure 36: Diagrama de Lógica de Programação para a implementação do algoritmo de busca de caminhos mais curtos.





**Figura 06:** Imagem TM LANDSAT 5 de 21/10/1990, com a localização das 77 lagoas estudadas. ALMEIDA et al. (2003)

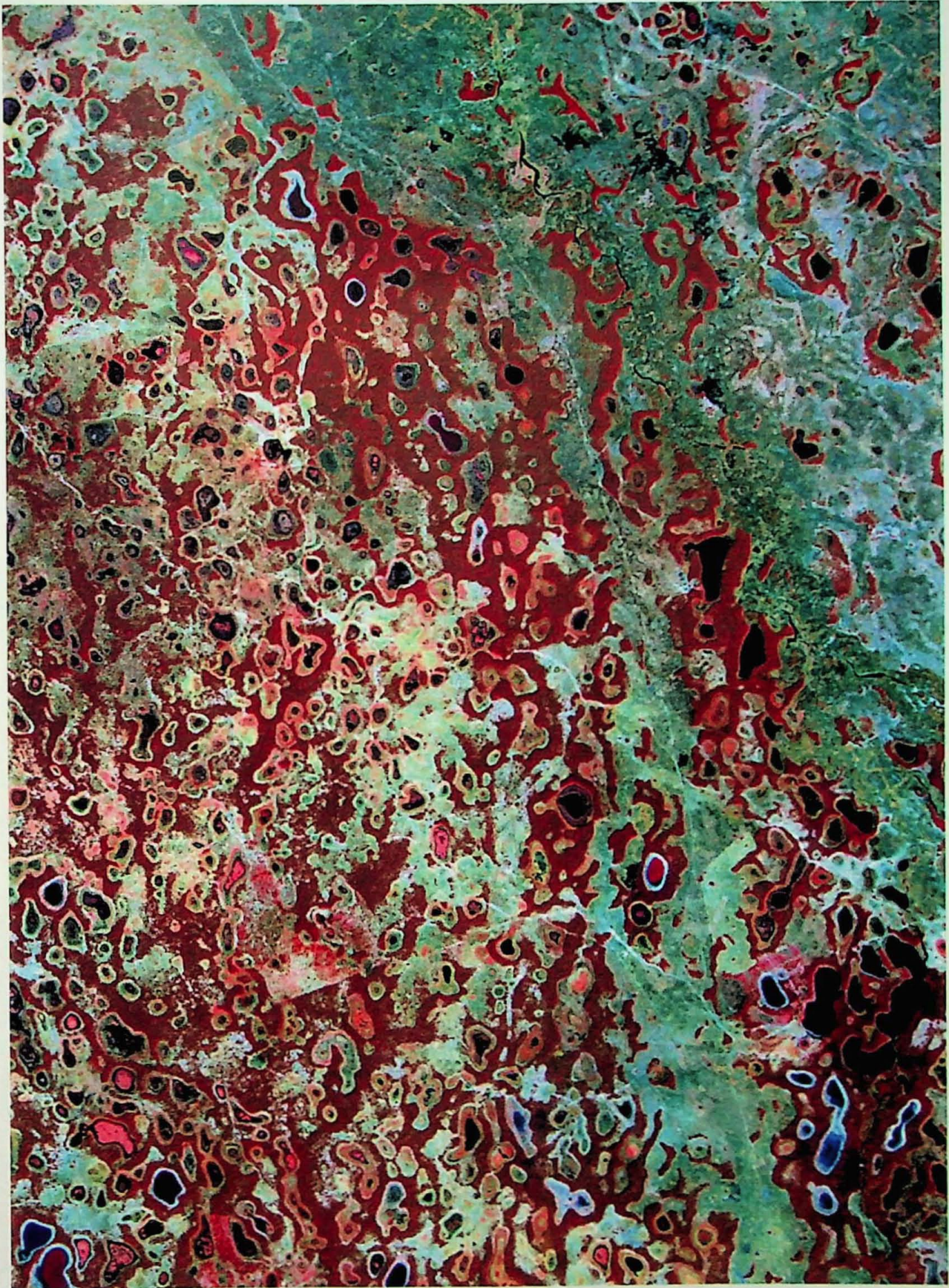




**Figura 07:** Imagem ETM LANDSAT 7 de 29/09/2002, com a localização das 44 lagoas restantes.



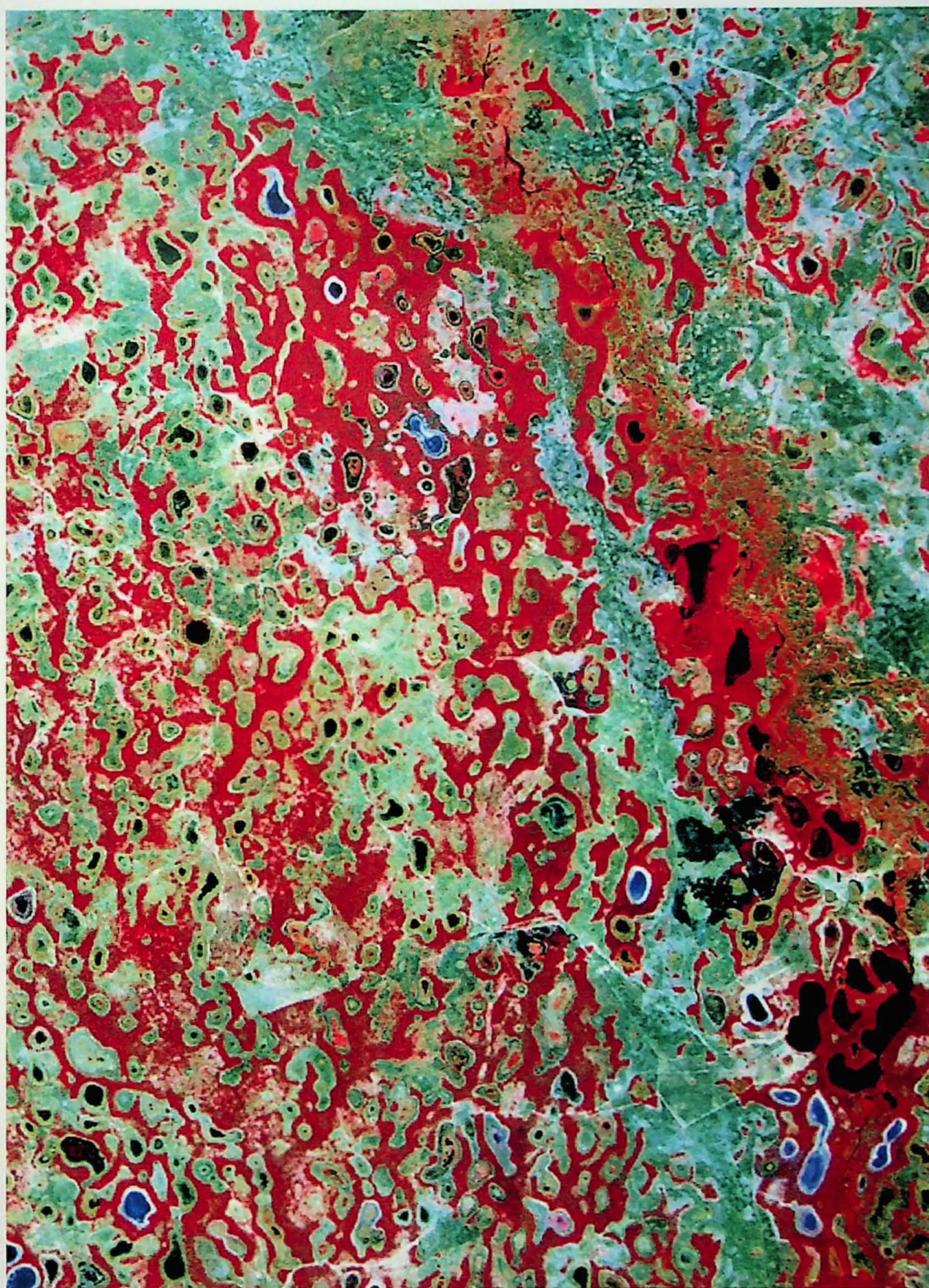
N ► [-----] 2 Km



**Figura 08:** Imagem ETM Landsat 7 de 28/09/02, com a localização das lagoas da Fazenda Nhumirim, época da seca.



N ► [-----] 2 Km



**Figura 09:** Imagem ETM Landsat 7 de 18/04/02, com a localização das lagoas da Fazenda Nhumirim, época da cheia.





**Foto 01:** Procedimentos de coleta próximo a furo de trado na Lagoa.



**Foto 02:** Lagoa próxima a sede da Fazenda Nhumirim da Embrapa.



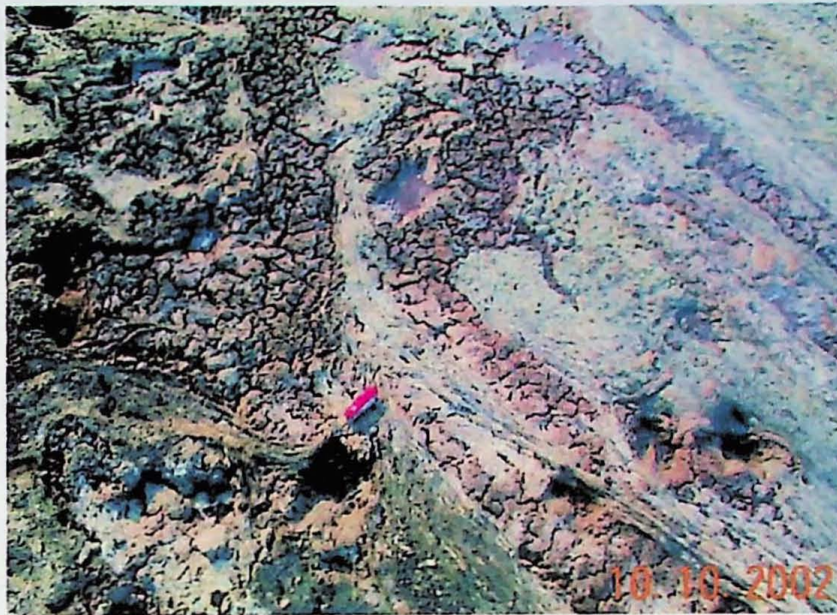


**Foto 03:** Carandás ao redor de lagoa alcalina



**Foto 04:** Acumulação de sal na beira de uma lagoa alcalina.





**Foto 05:** Matéria orgânica seca em leito de lagoa..



**Foto 06:** Lagoa seca coberta por vegetação rasteira.





**Foto 07** :Lagoa parcialmente seca, com água em seu centro.



**Foto 08** :Procedimento de coleta de água em lagoa.



