

## Análise Multitemporal de Imagens de Sensoriamento Remoto para Monitoramento da Qualidade da Água em Áreas de Mineração de Carvão

Silvio Daniel Graciani <sup>1</sup>  
Prof. Dra. Ruth Emilia Nogueira Loch <sup>2</sup>

Departamento de Engenharia Civil  
Universidade Federal de Santa Catarina  
Campus Universitário  
88040-900 Florianópolis SC - Brasil

<sup>1</sup> ✉ [sgraciani@hotmail.com](mailto:sgraciani@hotmail.com)

<sup>2</sup> ✉ [renloch@cfh.ufsc.br](mailto:renloch@cfh.ufsc.br)

<b>Conteúdo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1 Introdução</li> <li>2 Revisão Bibliográfica</li> <li>3 Área de Estudo</li> <li>4 Materiais e Método               <ul style="list-style-type: none"> <li>4.1 Materiais</li> <li>4.2 Método</li> </ul> </li> <li>5 Resultados</li> <li>6 Conclusão</li> <li>7 Referências Bibliográficas</li> </ul>
-----------------	---

**Resumo :** O objetivo desta pesquisa foi avaliar a potencialidade de Sensoriamento Remoto no monitoramento da qualidade da água de pequenas lagoas presentes nas áreas de mineração de carvão no Sul de Santa Catarina - Siderópolis. Nas visitas em campo fizeram-se testes de pH e observou-se nas lagoas, uma relação entre o pH da água e sua cor. Comprovou-se que ao variar o pH da água, mudava sua cor e mudava também a concentração de diferentes metais, principalmente a concentração de Ferro, existindo portanto, uma refletância espectral característica. Então, a partir dessa observação utilizou-se a cor das lagoas como um indicador não específico de sua qualidade da água, e procurou-se diferenciar as lagoas, em função de suas cores, através do uso das bandas 1, 2 e 3 do sensor TM do satélite Landsat-5, logrando-se detectar com essas bandas uma marcada diferença entre a refletância produzida pelas lagoas de menor qualidade da água (baixo pH e cor preto) e as de melhor qualidade (maior pH e cor verde). As primeiras mostraram nas três bandas TM utilizadas Números Digitais bem menores que os obtidos para as segundas. Posteriormente, a partir dos dados de campo e do sensor TM para duas datas: 1986 e 1996, se fez análise temporal para determinar se aconteceram mudanças na qualidade da água das lagoas durante o intervalo de tempo considerado.

**Abstract :** The objective of this research went evaluate to potentiality of Remote Sensing in the monitoring of the quality of the water in the areas of coal mining in the south part of Santa Catarina State - Siderópolis, Brazil. In the visits in field were made pH tests and it was observed in the lagoons, a relationship between the pH of the water and its color. Was proven that when varying the pH of the water, it changed its color, and it also changed the concentration of different metals, mainly the concentration of Iron, existing, therefore, a characteristic spectral reflection. Then, from that observation, the color of the lagoons was used as an indicator not specify of its quality of water, and tried of differentiate the lagoons, in function of its colors, through the use of the bands 1, 2 and 3 of sensor TM of the satellite Landsat-5, being detected with those bands a marked difference among the reflection produced by the lagoons of less quality of water (low pH and black color) and those of better quality (larger pH and green color). The firsts showed in the three bands TM considered Digital Numbers much less than obtained for the seconds. Later on, starting from the field data and of sensor TM for two dates: 1986 and 1996, was made temporary analysis to determine changes in the quality of the water of the lagoons during the interval of considered time.

### 1 Introdução

Qualidade da água é um termo geral que indica se a água é utilizável ou se o meio ambiente aquático, de oceanos, de rios, de lagos, de reservatórios e de aquíferos pode ser posto em perigo pela falta de tratamento dos resíduos domésticos, descargas industriais e pesticidas de uso agrícola.

Tradicionalmente os meios mais comuns de monitoramento da água na terra, são as medições feitas em pontos específicos e a coleção de amostras em localizações discretas. Estas amostras são coletadas na superfície ou em diferentes profundidades dentro dos corpos de água, através de dispositivos adequados. As amostras então, são testadas física e quimicamente para medir os níveis dos diferentes indicadores da qualidade da água tais como: cor, concentração de sedimento em suspensão, turbidez, clorofila, etc. Estas amostras só fornecem informações de pontos discretos dentro dos corpos de água, enquanto que os pesquisadores estão geralmente interessados em examinar corpos inteiros de água.

O sensoriamento remoto cumpre um importante papel no monitoramento da qualidade da água. A visão sinóptica provida por ele dá aos pesquisadores indícios da dinâmica e das condições da qualidade da água. Não obstante, raras vezes os dados obtidos por sensoriamento remoto são a única entrada para o monitoramento, geralmente eles são utilizados como auxiliares dos dados obtidos nas amostras de campo.

As aplicações de SR (sensoriamento remoto) estão limitadas às características que podem ser observadas sobre a superfície dos

corpos de água, portanto, uma relação empírica entre um indicador da qualidade da água e as bandas espectrais do sensor remoto deve ser estabelecida, para poder, então, inferir o estado da qualidade da água de um determinado corpo de água. Uma vez estabelecida tal relação é possível mapear a distribuição e/ou a concentração de um determinado indicador da qualidade da água. Além de poder mapear a distribuição espacial o SR permite também determinar a distribuição temporal de um parâmetro dado da qualidade da água.

Através de uma análise multitemporal das imagens de SR é possível monitorar processos dinâmicos. Devido as imagens serem adquiridas de um sensor situado em órbita estável e repetitiva, é possível estudar as mudanças produzidas na superfície terrestre sejam elas ocasionadas por fatores naturais ou antrópicos.

A exploração carbonífera ao longo deste século na Região Sul de Santa Catarina, tem produzido, por um lado, uma drenagem ácida oriunda das minas ativas e das abandonadas, para os cursos de água e por outro lado, tem originado lagoas ácidas a partir das cavas deixadas pela mineração a céu aberto, transformando-se desta forma na principal causa de degradação da qualidade da água.

A acidez da água na região carbonífera é produzida pela reação de oxidação e dissolução da pirita ( $\text{FeS}_2$ ) a partir de sua combinação com oxigênio e água. A pirita está presente em grandes quantidades nos rejeitos de carvão espalhados pela região. Ao oxidar-se a pirita forma-se ácido sulfúrico, isto produz um aumento na acidez da água o qual por sua vez determina uma diminuição do pH.

Através de testes de pH e da observação visual, detectou-se uma relação entre o pH e a cor da água das lagoas ácidas presentes na área de estudo. Verificou-se nas lagoas estudadas, que aquelas de menor pH ( $\text{pH} < 3$ ) tinham uma coloração marrom escuro e as de maior pH ( $\text{pH} > 5,5$ ) apresentavam uma coloração esverdeada, então, a partir desta observação decidiu-se utilizar a cor das lagoas como um indicador não específico de sua qualidade da água.

Neste artigo mostram-se resultados obtidos em uma pesquisa de mestrado, a qual está inserida em um conjunto de pesquisas efetuadas na mesma área de estudo, tais como: Dissertações de Mestrado e Teses de Doutorado. Esta pesquisa teve como principal objetivo avaliar a potencialidade de SR para monitorar a qualidade da água de pequenas lagoas presentes nas áreas de mineração de carvão no Sul de Santa Catarina.

## 2 Revisão Bibliográfica

O monitoramento do estado da qualidade da água na Região Carbonífera, tem sido efetuado através da tomada de amostras pontuais realizadas pela FATMA (Fundação de Meio Ambiente de Santa Catarina) no ano 1986 e nos anos 1996 e 1997, nesta última vez por estar em convênio com o projeto JICA (Japan International Cooperation Agency). Portanto, atualmente só existem dados da qualidade da água em pontos discretos dentro dos corpos de água. Não obstante, quando estes dados pontuais das amostras de campo forem relacionados aos dados obtidos por SR, será possível determinar problemas de poluição específicos em qualquer parte da superfície total de um corpo de água e não somente em pontos amostrais discretos, como acontece nos trabalhos de campo

As imagens de SR cumprem um importante papel na avaliação da qualidade da água e no gerenciamento de estratégias relacionadas com o recursos hídricos como por exemplo, a identificação das fontes de poluição assim como dos derrames de água ácida provenientes de minas ativas ou abandonadas.

Segundo ENGMAN e GURNEY (1991), *as aplicações de SR na determinação da qualidade da água estão limitadas as características que podem ser observadas*. Então, uma relação empírica entre um parâmetro da qualidade da água e uma ou mais bandas espectrais do sensor remoto, deve ser estabelecida para derivar o estado da qualidade da água num determinado corpo de água. Parâmetros da qualidade da água tais como: Cor, Turbidez, e Concentração de Sedimento Suspensos (CSS) têm sido utilizadas com sucesso em muitas aplicações.

RITCHIE et al. (1984) apud ENGMAN e GURNEY, utilizaram para seus estudos da qualidade da água, imagens do satélite Landsat e amostras de CSS. Para tal fim, empregou as bandas 1, 2, 3 e 4 do sensor TM, as quais contém informação relacionada a CSS próximo à superfície. Não obstante, foi com a banda 3, (630-690 nm), que encontrou a máxima correlação linear entre a refletância e o indicador da qualidade da água utilizado. Segundo o mesmo autor: *os dados do satélite Landsat podem prover às agências de conservação um meio de monitorar a qualidade da água em lagos e reservatórios*.

Para HILL et al. (1979), *os dados de satélite podem ser úteis para monitorar a qualidade da água*, devido às características espectrais dos corpos de água, tais como, a cor, a qual pode ser diferenciada através dos dados de SR e então correlacionada com outras importantes características da qualidade da água que não podem ser recenseadas remotamente, tais como: o pH ou oxigênio diluído.

Para BLACKWELL (1979), *a detecção remota da poluição da água pode ser feita porque muitos poluentes produzem mudanças na cor, na temperatura ou em outras características da superfície da água*. Segundo este autor, as imagens Landsat têm confirmado sua habilidade para detectar variações da cor da água e em muitos casos para relacionar esta a poluentes específicos.

De acordo com LIEDTKE et al. (1995), as técnicas de SR multiespectral tem sido utilizadas para identificar ou medir numerosos parâmetros da qualidade da água. O sensor TM do satélite Landsat, pode prover uma opção viável em alguns estudos da qualidade da água, porque apresenta três canais discretos sem superposição dentro do espectro visível.

Para CAIRNS et al. (1997), *o uso de SR para monitorar a qualidade da água tem sido incrementado muito nos últimos 15 anos*. Os mesmos autores sustentam que, através do emprego das diferentes bandas espectrais dos sistemas sensores pode obter-se a assinatura espectral dos indicadores da qualidade da água que influenciam na radiação electromagnética refletida pelos corpos de água.

Segundo ENGMAN e GURNEY (1991), *as séries de dados Landsat podem prover mapas com informações espaciais e temporais precisas sobre a cor dos corpos de água*, as quais podem ser relacionadas a indicadores específicos da qualidade da água.

Para SABINS (1996), o sistema sensor do satélite Landsat, pode registrar a cor de um corpo de água na região visível do espectro, devido ao material em suspensão presente no mesmo.

ANDERSON e ROBBINS (1998), desenvolveram uma técnica para discriminar espectralmente córregos ácidos e neutros, baseando-se nas características de refletância de precipitados de ferro (Fe) presentes nos corpos de água ácidos. Para aplicar esta técnica, utilizaram dados espectrais de campo e imagens de um Sistema de Vídeo Multiespectral Digital Aerotransportado, de 4

canais espectrais, de largura variável que imageiam na região do espectro compreendida entre 350 e 900 nm.

Os dados de SR podem ser utilizados também para registrar mudanças no tempo, e desta forma permitem monitorar a qualidade da água em áreas degradadas ou de alto risco ambiental, durante o período de tempo considerado.

Segundo CHUVIECO (1996), uma das principais aplicações de SR para o estudo do meio ambiente é sua capacidade para seguir processos dinâmicos. Devido a tratar-se de dados fornecidos por um sensor situado em uma órbita estável e repetitiva, as imagens de SR são de grande importância no estudo de mudanças que acontecem sobre a superfície terrestre, sejam estas de origem natural ou antrópico.

Para BITENCOURT e LOCH (1998), o acompanhamento da evolução temporal e expansão de um determinado fenômeno pode ser feito através da interpretação de séries históricas de imagens, ou seja, buscar informações mediante a análise de uma mesma área em diferentes épocas. Desta forma, é possível acompanhar a evolução de um fenômeno e, então, a partir deste conhecimento gerenciar a área objeto onde ele acontece.

Para CAMPBELL (1979), os planejadores necessitam informação atual, precisa, facilmente reproduzível e relativamente econômica para utilizá-la na implementação de práticas de gerenciamento da qualidade da água. Tais informações com essas características podem ser providas pelas imagens de SR.

### 3 Área de Estudo

A área de estudo esta localizada na sub-bacia do Rio Fiorita, a qual a sua vez localiza-se no sul do Estado de Santa Catarina, Brasil. Esta encontra-se limitada pelas seguintes coordenadas geográficas: 28° 31' 00" a 28° 37' 30" de latitude sul e 49° 22' 30" a 49° 30' 00" de longitude oeste.

A sub-bacia do rio Fiorita pertence à bacia do rio Mãe Luzia, a qual a sua vez forma parte da bacia do rio Araranguá. Entretanto, segundo os limites políticos a maior parte da sub-bacia do rio Fiorita pertence ao município de Siderópolis, (ver figura 1).

O município de Siderópolis, localizado na região carbonífera, é um dos locais onde se pode, ainda hoje, observar as conseqüências da exploração do carvão. Na área central da sub-bacia do rio Fiorita, se praticou por mais de 50 anos a mineração a céu aberto. Este tipo de mineração é o que mais altera o Meio Ambiente porque é um método de extração onde a camada de carvão fica descoberta pela remoção de toda a cobertura de solos e rochas que se encontram acima dela. Essa remoção de material originou, pilhas de material estéril dispostas em linhas paralelas e as cavas de mineração que formam as lagoas ácidas. Tais lagoas ácidas, foram originadas pelas águas das vertentes e chuvas que entraram em contato com os rejeitos de carvão que continham pirita.

Embora a atividade de mineração a céu aberto seja hoje mínima, a drenagem ácida ainda acontece e é fruto dos depósitos de rejeito de carvão espalhados por toda a área central da sub-bacia.

A figura 2, mostra a área marcada em vermelho sobre o gráfico da sub-bacia da figura 1, nela se podem observar as lagoas estudadas e suas respectivas denominações.

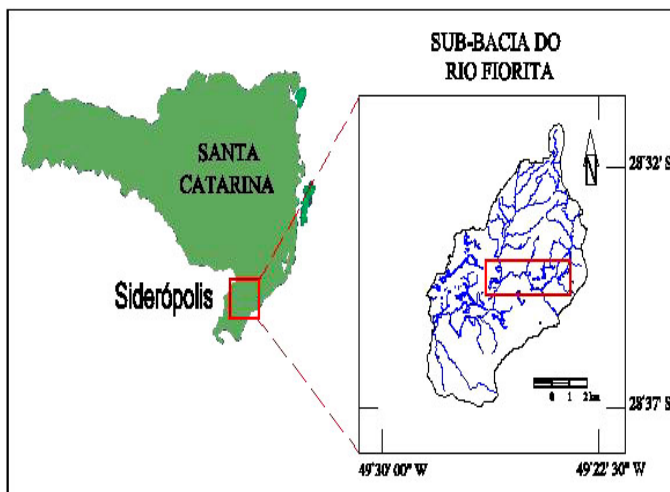


Fig. 1 : Mapa de localização da Sub-bacia do rio Fiorita.

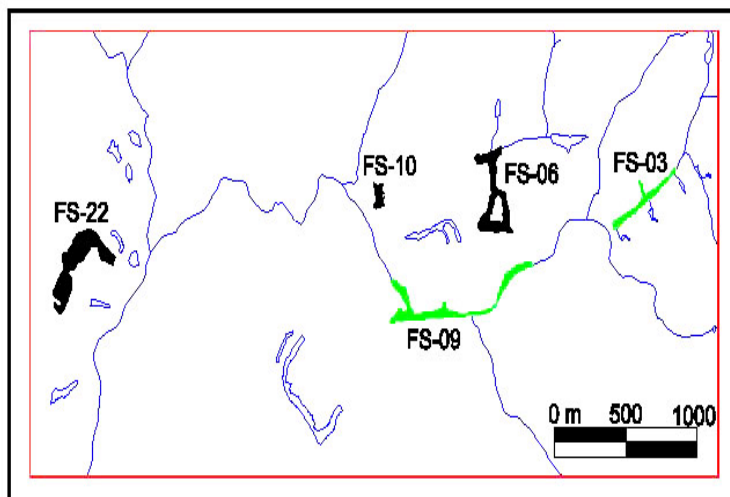


Fig. 2 : Lagoas estudadas.

## 4 Materiais e Método

### 4.1 Materiais

1. Duas imagens do Sensor TM (Thematic Mapper) do satélite Landsat-5, banda 1 (450 a 520 nm), banda 2 (520 a 600 nm) e banda 3 (630 a 690 nm). Datas: 17/11/86 e 12/11/96;
2. fotografias aéreas em Escala = 1/5.000 e 1/30.000, data: 1996;
3. base cartográfica em Escala = 1/10.000 pertencente ao projeto JICA, data: 1996;
4. carta Digital em Escala = 1/20.000 pertencente ao projeto JICA, data: 1996;
5. dados das amostras de campo obtidas pela FATMA em 1986 e 1996 e por MARTINELLO em 1997.

### 4.2 Método

1. Em primeiro lugar verificaram-se os dados de pH da água que foram obtidos a partir das amostras de campo tomadas pela FATMA nos anos 1986 e 1996. Também foram verificados os dados das concentrações de Ferro (Fe), Alumínio (Al) e Sulfatos ( $\text{SO}_4$ ) obtidas das amostras tomadas pela FATMA entre dezembro e março de 1996/1997 e das amostras feitas por MARTINELLO no ano 1997. Todas as amostras foram tomadas em pontos discretos dentro das lagoas ácidas estudadas, com uma diferença máxima de 2 mês em relação à data em que foram obtidas as imagens TM nos anos 1986 e 1996.
2. No Software ENVI (The Environment for Visualizing Images) foram obtidos, para cada uma dessas lagoas, os ND (números digitais) médios que elas apresentavam nas bandas 1, 2 e 3 do sensor TM. Para isto, cada lagoa foi observada individualmente para escolher os pixels puros, isto é, aqueles pixels que continham somente água, evitando, desta forma, os pixels que ficavam nas bordas das lagoas. Devido ao tamanho pequeno das lagoas (média de 30.000  $\text{m}^2$ ) e considerando o tamanho relativamente grande do pixel do sensor TM (30x30 m) obtiveram-se em média 22 pixels por cada lagoa considerada. Posteriormente, determinou-se o ND médio destes pixels em cada uma das três bandas TM utilizadas para cada lagoa. As bandas 1, 2 e 3 do sensor TM foram escolhidas, porque, a partir da bibliografia consultada (Cairns et al., 1997; Engman e Gurney, 1991; Sabins, 1996; Sausen, 1998) constatou-se que essas eram as bandas empregadas para fazer estudos da qualidade da água.
3. Determinaram-se os coeficientes de correlação ( $R^2$ ) entre o pH das lagoas, considerado como um indicador específico da sua qualidade, e os ND médios das bandas espectrais 1, 2 e 3 do sensor TM.
4. Por último, as imagens foram confrontadas para determinar se aconteceram mudanças na qualidade da água das lagoas durante o intervalo de tempo considerado. Como foram selecionados para a análise somente os pixels puros, isto é, aqueles pixels que continham somente água, e além disso, como os corpos de água eram pequenos, a análise de mudanças foi feita visualmente.

## 5 Resultados

Os dados de pH obtidos das amostras de campo feitas em 4 lagoas ácidas da área em estudo para o ano 1986 são mostrados na tabela 1:

**TABELA 1 - Valores de pH para 1986**

LAGOA	COR	PH
FS-06	Preto	2.6
FS-10	Preto	2.5
FS-03	Verde	4.4
FS-09	Verde	3.1

Fonte: dados de pH, FATMA (1986)

Os dados de cor das lagoas apresentados na tabela 1 foram obtidos a partir de uma composição colorida onde a banda 1 recebeu a cor azul, a banda 2 a cor verde e a banda 3 a cor vermelha. As lagoas que aparecem de cor preto na composição colorida, tinham, na realidade, uma cor marrom escuro e as de cor verde apresentavam a mesma cor no campo. No restante do trabalho quando se indica a cor das lagoas, sempre se estará fazendo referência à cor obtida na composição colorida antes mencionada.

Na tabela 2 observam-se os dados de pH e cor obtidos em seis lagoas ácidas no ano 1996, cinco dessas lagoas estão localizadas na área de estudo e uma encontra-se mais ao norte, em outra sub-bacia do rio Mãe Luzia. Esta última lagoa tem um origem semelhante as anteriores e só foi utilizada porque obtiveram-se dados de amostras tomadas nesta lagoa no ano 1996.

**TABELA 2 - Valores de pH para 1996**

LAGOA	COR	pH
FS-06	Preto	2.8
FS-10	Preto	2.8
FS-22	Preto	2.6
FS-03	Verde	5.8
FS-09	Verde	4.0
MS-02	Verde	6.7

Fonte: dados de pH, FATMA (1996) e MARTINELLO (1997)

A tabela 3, a seguir, mostra as correlações ( $R^2$ ) obtidas entre os ND médios das bandas 1, 2 e 3 do sensor TM e os dados de pH das lagoas para o ano 1986.

**TABELA 3 - Correlações entre os ND médios e os valores de pH para 1986**

LAGOA	COR	pH	VALORES MÉDIOS		
			BANDA 1	BANDA 2	BANDA 3
FS-06	Preto	2.6	67	37	38
FS-10	Preto	2.5	52	22	37
FS-03	Verde	4.4	113	178	87
FS-09	Verde	3.1	109	168	74
		$R^2$	0.6685	0.6775	0.8156

Nesta tabela 3 pode-se observar uma maior correlação do pH das lagoas com a banda 3 do sensor TM ( $R^2 = 0,8156$ ), isto indica um maior grau de dependência lineal entre os valores de pH e os ND médios desta banda.

As correlações obtidas entre os ND médios das bandas 1, 2 e 3 do sensor TM e os dados de pH das lagoas para o ano 1996 são mostradas na tabela 4, a seguir.

**TABELA 4 - Correlações entre os ND médios e os valores de pH para 1996**

LAGOA	COR	pH	VALORES MÉDIOS		
			BANDA 1	BANDA 2	BANDA 3
FS-06	Preto	2.8	65	44	28
FS-10	Preto	2.8	45	40	41
FS-22	Preto	2.6	41	16	30
FS-03	Verde	5.8	124	173	82
MS-02	Verde	6.7	164	202	66
FS-09	Verde	4.0	132	211	80
		$R^2$	0.8275	0.6879	0.5737

Observa-se na tabela 4, uma maior correlação do pH das lagoas com a banda 1 do sensor TM ( $R^2 = 0.8275$ ). Olhando ambas tabelas (3 e 4) e a figura 3, pode-se observar claramente que nas lagoas com menor pH ( $pH < 3$ ) e cor preto, isto é, com menor qualidade da água, os ND médios das três bandas são menores que os ND médios das lagoas com maior pH ( $pH > 3$ ) e cor verde (melhor qualidade da água).

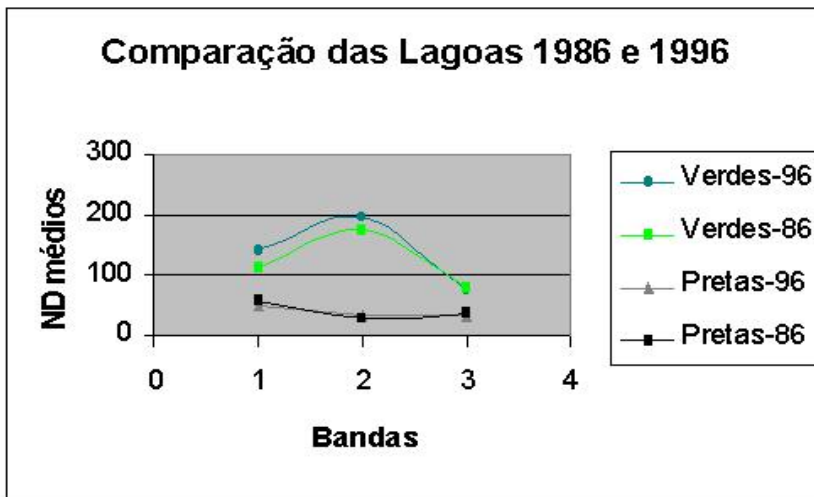


Fig. 3 :Comparação das lagoas 1986 e 1996

Para a segunda imagem TM (1996) haviam, também, dados de concentrações de Ferro (Fe), Alumínio (Al) e Sulfatos ( $SO_4$ ) em quatro lagoas da área em estudo. Comparando esses dados com os dados de pH das mesmas lagoas detectou-se que para as de menor pH ( $pH < 3$ ) as concentrações destes elementos eram maiores, existindo portanto, uma relação inversamente proporcional entre o pH e as concentrações de metais e sulfatos. A tabelas 5 mostra o pH e as concentrações destes elementos para as quatro lagoas consideradas no ano 1996:

TABELA 5 - Concentrações de Ferro, Alumínio e Sulfatos para 1996

LAGOA	COR	pH	Fe (mg/l)	Al (mg/l)	$SO_4$ (mg/l)
FS-10	Preto	2.8	131.4	132.4	1876.0
FS-22	Preto	2.6	200.0	71.4	1600.0
FS-09	Verde	4.0	1.6	11.5	129.0
MS-02	Verde	6.7	0.8	0.1	470.0

Fonte: FATMA (1996) e MARTINELLO (1997)

A maior concentração de metais e sulfatos nas lagoas com menor pH foi verificado por Martinello (1997), a qual comprovou que as lagoas com menores pH ( $2 < pH < 3$ ) possuem uma maior concentração de metais solúveis, principalmente de Ferro, e as lagoas de maior pH ( $pH > 6$ ) possuem uma baixa concentração de metais em estado solúvel. Isto ocorre porque os metais em presença de pH elevados precipitam-se na forma de hidróxidos ficando no sedimento do fundo das lagoas. Portanto, a cor preta observada na imagem das lagoas com menor pH estaria relacionada principalmente à maior concentração de Ferro em estado solúvel presente nessas lagoas. No caso das amostras tomadas na lagoa MS-02 por Martinello (1997) encontraram-se algas, mas sua concentração não foi medida. A presença desse elemento na lagoa estaria relacionada a seu maior pH ( $pH > 6$ ) e explicaria também a cor verde desta lagoa. Por último, as imagens das duas datas foram confrontadas visualmente para determinar se aconteceram mudanças na cor das lagoas, isto é, em sua qualidade da água, durante o intervalo de tempo considerado, não encontrando-se variações nas cores das lagoas entre as imagens de 1986 e 1996, portanto, aquelas lagoas de cor preta na imagem de 1986 continuaram com a mesma cor na segunda imagem, o mesmo aconteceu com as de cor verde. Não obstante, constatou-se que a lagoa FS-22 tinha aumentado muito seu tamanho na imagem de 1996 em relação à de 1986. As restantes lagoas não tiveram mudanças em suas formas, ver figura 4 e 5.



**Fig. 4** :Lagoas 1986.



**Fig. 5** :Lagoas 1996.

## 6 Conclusão

As bandas 1, 2 e 3 do sensor TM mostraram-se muito úteis para diferenciar lagoas que apresentavam diferentes cores, constatando-se uma marcada diferença entre os ND dos pixels das lagoas de cor preta e os ND dos pixels das lagoas de cor verde, sendo, que as primeiras continham maiores concentrações de metais (Fe, Al, etc.) e sulfatos e um pH baixo ( $pH < 3$ ), e as segundas tinham menores concentrações de metais e sulfatos e um pH maior ( $pH > 5,5$ ) o qual favorecia a presença de algas. Portanto, ao utilizar a cor das lagoas como um indicador não específico de sua qualidade da água, foi possível determinar o estado da qualidade da água das lagoas através do uso das imagens TM. Além disso, as imagens TM possibilitaram observar que não haviam acontecido mudanças nas cores das lagoas no intervalo de tempo transcorrido entre as datas de tomada das imagens, estes resultados foram coincidentes com os dados obtidos nas amostras de campo feitas para ambas épocas. Portanto, as imagens de SR se apresentaram também, como um meio muito útil para monitorar a qualidade da água das lagoas estudadas.

## 7 Referências Bibliográficas

**ANDERSON, J.E. e ROBBINS, E.I.:** *Spectral reflectance and detection of iron-oxide precipitates associated with acidic mine drainage.* In: Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 64, No. 12, december 1998, p: 1210-1208.

**H.P. e VÖGTLE, T.:** *GIS for environmental monitoring.* Cap. IV: GIS application for environmental monitoring. Stuttgart (Germany) 1999.

**BITENCOURT, L.R. e LOCH, C.:** *O uso das Séries Históricas de Fotografias Aéreas para Monitoramento Físico-Espacial de Propriedades Rurais Visando a Avaliação da Legalidade das Posses.* In: III COBRAC - CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITARIO. Anais, Florianópolis, Brasil 1998.

**BLACKWELL, R.J.:** *Water quality and environment.* In: SATELLITE HYDROLOGY. Editado por Deutsch, M., Wiesnet, D.R. e Rango, A.; Copyright by The American Water Resources Association, Minneapolis, Minnesota, USA 1981, p: 615.

**CAIRNS, S.H., DICKSON, K.L. e ATKINSON, S.F.:** *An examination of measuring selected water quality trophic indicators with SPOT satellite HRV data.* In: Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 63, No. 3, March 1997, p: 263-265.

- CAMPBELL, J.B.:** *Introduction to remote sensing.*, The Guilford Press. Cap. 18: Hydrospheric Sciences. New York - London, 1996.
- CAMPBELL, W.J.:** *An application of landsat and computer technology to potential water pollution from soil erosion.* In: SATELLITE HYDROLOGY. Editado por Deutsch, M., Wiesnet, D.R. e Rango, A.; Copyright by The American Water Resources Association, Minneapolis, Minnesota, USA 1981, p: 616-621.
- CHUVIECO, E.:** *Fundamentos de teledetección espacial.* Ediciones RIALP. Cap. 7: Tratamiento digital de imágenes: II. Generación de información temática. Madrid (España), 1996.
- CHUVIECO, E.:** *El factor temporal en teledetección: evolución fenomenológica y análisis de cambios.* In: Revista de Teledetección, No. 10, Diciembre 1998, p: 39-48.
- ENGMAN, E.T. e GURNEY, R.J.:** *Remote sensing in hydrology.* Chapman and Hall. Cap. 9: Water quality e Cap. 10: Water resources management and monitoring. London (UK), 1991.
- J.M. e GRAHAM, D.S.:** *Using enhanced landsat images for calibrating real time estuarine water quality models.* In: SATELLITE HYDROLOGY. Editado por Deutsch, M., Wiesnet, D.R. e Rango, A.; Copyright by The American Water Resources Association, Minneapolis, Minnesota, USA 1981, p: 603-614.
- SDUMSC,** Japan International Cooperation Agency - Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente do Estado de Santa Catarina. *Interim report for the feasible study on recuperation of mined areas in the Shouth Region of Santa Catarina in the Federative Republic of Brazil.* Japan: Mitsubishi Materials Corporation, Chiyoda-Dames & Moore CO., LTD. 1997.
- LIEDTKE, J., ROBERTS, A. e LUTERNAUER, J.:** *Practical remote sensing of suspended sediment concentration.* In: Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 61, No. 2, February 1995, p: 167-175.
- LILLESAND, T.M. e KIEFER, R.W.:** *Remote sensing and image interpretation.* Jonh Wiley & Sons. Cap. 1: Concepts and foundations of remote sensing. New York (USA), 1987.
- MARTINELLO, C. M.:** *Avaliação microbiológica e físico-química de lagoas ácidas na área de mineração de carvão a céu aberto.* Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola e do Ambiente) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1998.
- NOGUEIRA LOCH, R.E.:** *Estruturação de dados geográficos para a gestão de áreas degradadas pela mineração.* Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2000.
- NOGUEIRA LOCH, R.E.:** *Influência da exploração carbonífera nas atividades agrícolas e no desenvolvimento global de Criciúma-SC.* Dissertação (Mestrado em Geografia) - Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1991.
- RUGGLES, F. e DEUTSCH, M.:** *Water use and management.* In: SATELLITE HYDROLOGY. Editado por Deutsch, M., Wiesnet, D.R. e Rango, A.; Copyright by The American Water Resources Association, Minneapolis, Minnesota, USA 1981, p: 681-682.
- RUIZ-AZUARA, P.:** *Multitemporal analysis of "simultaneous" landsat imagery (MSS and TM) for monitoring primary production in a small tropical coastal lagoon.* In: Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 61, No. 2, February 1995, p: 187-198.
- SABINS, F.F.:** *Remote Sensing.* W.H. Freeman and Company, New York 1996