

Universidade Federal de Minas Gerais
Instituto de Geociências
Programa de Pós – graduação em Análise
e Modelagem de Sistemas Ambientais

Classificação e caracterização dos ambientes de terras úmidas do Refúgio de
Vida Silvestre do Rio Pandeiros, a partir do uso de imagens Ikonos.

Ivan Seixas Barbosa

Belo Horizonte

2010

Ivan Seixas Barbosa

Classificação e caracterização dos ambientes de terras úmidas do Refúgio de Vida Silvestre do Rio Pandeiros, a partir do uso de imagens Ikonos.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós – graduação do Departamento de Cartografia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais.

Orientador: Dr. Philippe Maillard

Belo Horizonte

2010

Dissertação defendida e aprovada, em de , pela Banca Examinadora constituída pelos
doutores e professores:

Prof. Dr. Philippe Maillard

Pof. Dr. Marcos Antônio Timbó Elmiro

Profa. Dra. Janise Bruno Dias

Corre Rosa Légua

A espinha corre

Divisa ao norte

Seca mata

Contorcidos troncos

Separa irmãos

Francisco D'água em meio ao
Sertão

Corre Serra, Urucuia

Araras voadoras,

Onça , Pardo, Várzea Flores,

Caririnha, esplendores.

Pobre terra

Muito rica

Do Verde seco decíduo,

Do Contorcido verde perene,

Do Campo,

Da Várzea

Vereda.

Do boi brabo Calundú,

Dos amores diadorianos,

Corre légua Petrês

Corre Rosa légua

(Ivan Barbosa)

Agradecimentos

A vida tem de ser doce, salgada e, às vezes, amarga. Pena que de amargo não exista apenas o chocolate. Agradeço a todos que saborearam a vida ao meu lado nos últimos dois anos e meio de trabalho.

À família informo que tudo aquilo que sou e fui capaz de fazer reflete o carinho e amor que recebi de vocês. Aos amigos de apartamento, da rua, do bairro etc... saúdo com a seguinte máxima:

“Amigo é coisa para se guardar

Debaixo de sete chaves

Dentro do coração”

(Canção da América - Milton Nascimento)

À turma do laboratório agradeço o apoio, a troca de experiências e as saborosas refeições compartilhadas no refeitório da UFMG. Ao Philippe Maillard, que além de orientador tornou-se um amigo, sou grato pelo empenho no projeto, pelos voos de trike e pelas viagens mundo afora.

Registro um agradecimento especial a todos do Instituto Estadual de Floresta que, de alguma forma, viabilizaram o desenvolvimento deste trabalho. Deixo esse agradecimento explicitado nos nomes do José Medina da Fonseca e do Célio Murilo de Carvalho Valle.

Um forte abraço para o Marcos Pivari (mocotó), que comigo compartilhou parte do seu conhecimento sobre macrófitas aquáticas.

Finalmente, agradeço a Deus, a Oxalá, a Buda, a Zeus e a Alá, assim como à convergência e ao curupira. Sejam mitos ou não, esses me confortam nos momentos de dificuldade e, portanto, merecem a minha homenagem.

Lista de Figuras

1.1 Biomas do Brasil	2
2.1 Fotografias ilustrando a geomorfologia dos ambientes sazonais	8
2.2 Cobertura do Solo APA Pandeiros	10
2.3 Fotografias ilustrando a catinga arbórea.	12
2.4 Fotografias ilustrando o cerrado.	14
2.5 Fotografias ilustrando as principais famílias de macrófitas	17

Lista de Tabelas

2.1 Ikonos	20
----------------------	----

Siglas e Símbolos

- APA: Área de Proteção Ambiental
- RVS: Refúgio de Vida Silvestre
- APPs: Áreas de Proteção Permanente
- EUA: Estados Unidos da América
- PIB: Programa Internacional de Biologia
- UCs: Unidades de Conservação
- MAGIC: Map Guided Image Classifier
- GLCM: Grey Level Coocurance Matrix

Sumário

Resumo	ix
Abstract	x
1 Introdução e Objetivos	1
1.1 Introdução	1
1.2 Objetivos	4
2 Fundamentação Teórica	5
2.1 Terras úmidas	5
2.1.1 Definição	5
2.1.2 Terras úmidas em Terras Secas: o caso das planícies aluviais	7
2.2 Importância e Conservação dos Ambientes de Terras Úmidas	9
2.3 Caracterização dos Biomas Onde se Insere a Área de Estudo	11
2.4 Macrófitas Aquáticas.....	14
2.5 Mapeamento de Terras Úmidas.....	18
3 Artigo 1- Mapeando um complexo de terras úmidas na savana brasileira, a partir de uma imagem Ikonos: acessando o potencial de um novo classificador baseado no objeto.	22
4 Artigo – 02 Revisitando a textura, a partir da matriz de concorrência dos níveis de cinza, para classificar comunidades de plantas aquáticas em ambientes de terras úmidas no Brasil. ..	42
5 Conclusão	60
Referências Bibliográficas	62
Anexo I - Definições de terras úmidas	65
Anexo II - Artigo publicado na revista Canadian Journal of Remote Sensing	66
Anexo III - Trabalho apresentado no ISPRS TC VII Symposium – 100 Years ISPRS.....	67

RESUMO

Terras úmidas são ecossistemas complexos que mantêm uma elevada diversidade de paisagens associadas às variações nos níveis de água, drenagem do solo e tipologia vegetal. No Estado de Minas Gerais, o Refúgio de Vida Silvestre do Rio Pandeiros, que cobre a planície de inundação próxima à foz desse rio, agrega essas características. Essa planície encontra-se rodeada por uma matriz de vegetação xerófila e é a principal fonte de água para a fauna local no período de seca. Além disso, é conhecida por fornecer abrigo a um grande número de espécies de aves e peixes no período de reprodução. Todavia, a ausência de leis específicas e a dificuldade de fiscalização dos órgãos ambientais tornam esse ambiente vulnerável à ação antrópica, em particular ao desmatamento para produção de carvão e formação de pasto.

A importância desse ambiente associada às ameaças que sofre faz com que o inventário da cobertura do solo seja crucial para o manejo e conservação desse ecossistema. Neste trabalho, avaliou-se o uso de diferentes abordagens para a classificação da cobertura do solo a partir da imagem Ikonos. No primeiro artigo, fez-se a comparação entre três classificadores, sendo dois tradicionais, baseadas no pixel, e um baseado nos campos aleatórios de Markov. No segundo artigo, avaliou-se o potencial de incorporar dados de textura no processo de classificação a partir do uso da matriz de coocorrência.

No primeiro trabalho, obtiveram-se resultados que mostram que tanto a classificação tradicional supervisionada, quanto a nova abordagem têm elevado potencial para a identificação das fitofisionomias vegetais. Essas tiveram, respectivamente, acurácia de 88% e 95% no processo de classificação. Além disso, os resultados dos classificadores foram comparados com um mapa de interpretação visual e atingiram as seguintes porcentagens de acurácias para os processo de classificação: para o novo classificador, de 70%; para a classificação supervisionada (Máxima Verossimilhança), de 41%, e para a classificação não supervisionada (ISODATA), de 39%.

O segundo trabalho objetivou avaliar o uso da matriz de coocorrência na segmentação e classificação dos ambientes de terras úmidas, assim como definir os parâmetros ótimos para característica de textura, tamanho da janela e distância para o par de pixels. O melhor resultado obtido foi capaz de melhorar a classificação em 13,3% quando comparado à classificação supervisionada (Máxima verossimilhança). A melhor classificação obteve uma acurácia total de 87,5%.

ABSTRACT

Wetlands are complex ecosystems with a high diversity of landscapes which is associated with water level, soil and vegetal typology. In the State of Minas Gerais, The Rio Pandeiros Wildlife Sanctuary congregates all these features and is classified as a flood plain. The Pandeiros is the main source of water for local fauna since it is surrounded by a dry savanna matrix. It is also a breeding ground for several species of birds and fishes. However, the absence of specific protecting laws and the incapability of environmental agencies to manage this site threat its existence.

The ecological importance of this environment associated with the human threat make the inventory of land cover and study of vegetal typologies urgent since it will subsidize the management and conservation of this ecosystem. This work was divided in two papers which aimed to evaluate the application of different classification approaches based on Ikonos image.

The first paper presents a comparison between an unsupervised region-based classification approach and traditional supervised and unsupervised classification techniques for mapping different environments within this complex wetland system. All three classification methods were tested and their results compared with field data and with an interpreted reference map. The results suggest that traditional supervised and the new region-based approach have good potential for identifying the main vegetal physiognomies but that the latter yielded superior results with an estimated accuracy of 95% against 88%. The region-based approach had the advantage of a much superior spatial consistency and allowed easier visual interpretation of the classified image. In a second accuracy assessment, we compared the classification results achieved using region-based, maximum likelihood and unsupervised ISODATA algorithms with a visually interpreted reference map. The results were respectively: 70%, 41% and 39%.

The second paper aimed to evaluate the use of GLCM in the classification and segmentation of a wetland environment using high resolution image. As well as determining the optimal parameters of textures, window size and distance to be used in the study of IKONOS images for this sort of environment. We reached an improvement of 13,3% in the classification adding texture information in the process. The best result achieved was 87,5% of overall accuracy.

Capítulo 1

INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

1.1 Introdução

As Terras Úmidas cobrem entre 4 e 6% da superfície da Terra, estão amplamente distribuídas na superfície terrestre (Mitsch e Gosselink, 2000) e são consideradas unidades ecológicas funcionais, pois são sistemas suscetíveis à entrada e saída de elementos orgânicos e inorgânicos onde ocorrem fluxos de matéria e energia (Neiff, 1997). Características típicas incluem solos pobremente drenados, vegetação hidrófita, atividades biológicas adaptadas a ambientes úmidos e a ocorrência de inundações ou saturação do ambiente. Essas áreas desempenham funções vitais como a manutenção de estoques de carbono, recarga e descarga hídrica dos aquíferos, controle de enchentes, ciclagem de nutrientes e conservação da biodiversidade. No entanto, observa-se carência de estudos científicos para essas áreas, que é ainda maior para aquelas alocadas em regiões subúmidas, semiáridas e hiperáridas (Tooth e McCarthy).

No Brasil, destaca-se o bioma Pantanal (Figura 1.1), classificado como uma savana inundável, dotada de extraordinária beleza cênica, que ocupa uma área de aproximadamente 140.000 km² e é uma das maiores áreas úmidas neotropicais do mundo (Pott, 2003). As demais terras úmidas são pouco citadas e, na maioria dos casos, carecem de qualquer tipo de estudo. Um importante sítio de terra úmida é a Planície do Rio Pandeiros, localizada ao norte do Estado de Minas Gerais. Essa caracteriza-se por ser uma região pantanosa, envolta por matriz de vegetação xerófila, responsável pela reprodução de diversas aves migratórias e peixes da bacia do Rio São Francisco. As características únicas apresentadas por esse corpo d'água levaram as autoridades legais a instituírem unidades de conservação a fim de garantir a manutenção e preservação de seus atributos, sendo a bacia do Rio Pandeiros reconhecida como Área de Proteção Ambiental – APA (Minas Gerais, 1995), e a porção próxima à foz do rio, um Refúgio de Vida Silvestre – RVS (Minas Gerais, 2004). Entretanto, elevadas taxas de conversão de áreas naturais em pastagem, uso irregular das Áreas de Proteção Permanente - APPs -, e atuação deficitária do Estado no controle do uso inadequado dos recursos naturais mostram que os instrumentos legais não têm surtido o efeito desejado. Esse contexto torna o inventário, a caracterização e a compreensão da dinâmica de terras úmidas ponto chave para

a conservação desse ecossistema.

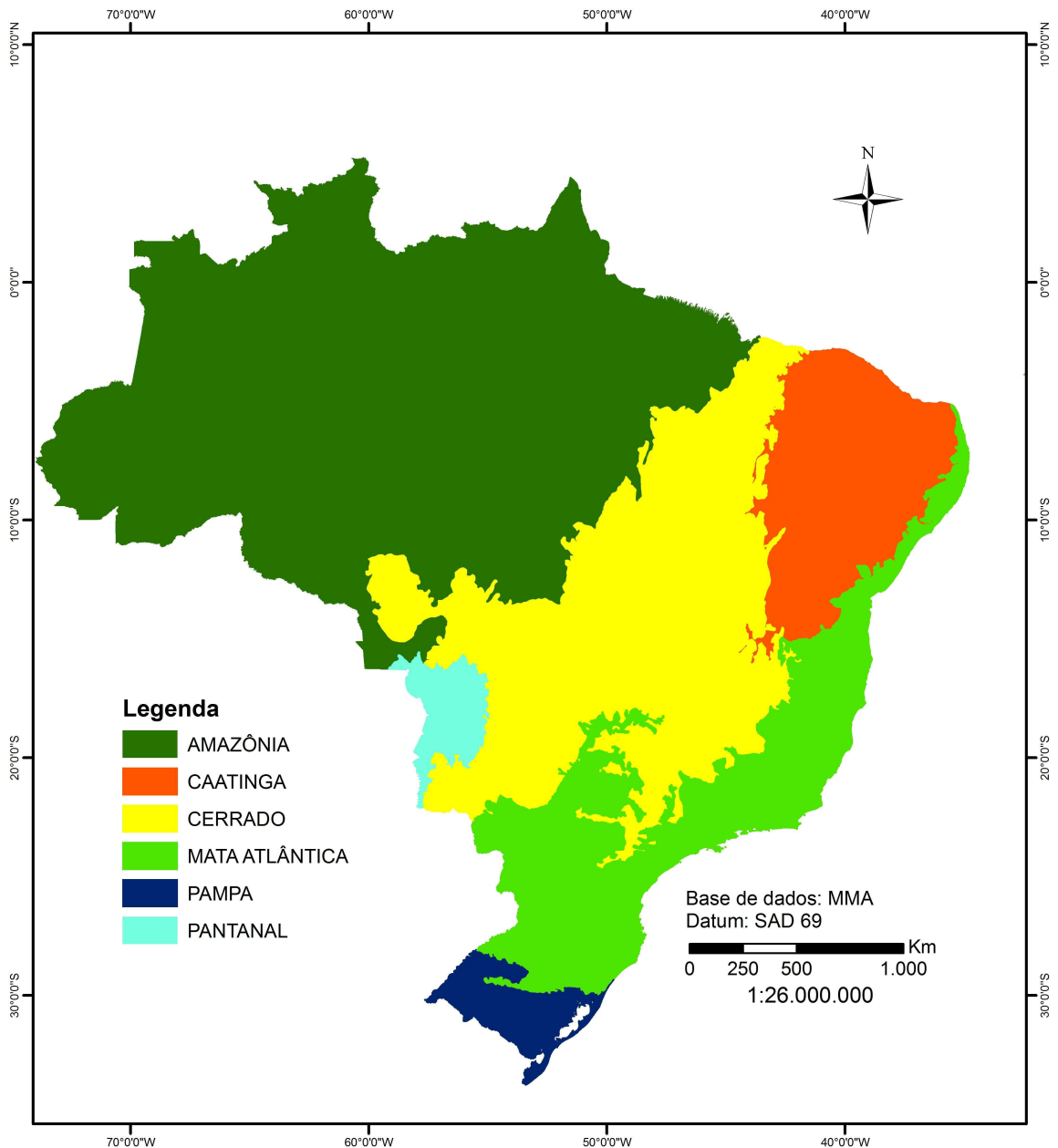


Figura 1.1: Biomas do Brasil. Fonte: Adaptado do MMA (2010).

Uma série de parâmetros é relevante para o inventário de ambientes de terras úmidas como, por exemplo, vegetação, solo, declividade do terreno, disponibilidade hídrica, altitude e outros. Todavia, o aspecto botânico desempenha papel chave, pois representa uma resposta direta à interação dos fatores bióticos e abióticos presentes nesses ambientes. Além disso, espécies do grupo vegetal denominado macrófitas aquáticas são uma ferramenta eficiente de monitoramento, pois respondem rapidamente a mudanças ambientais e possuem

características que permitem agrupá-las de acordo com sua forma biológica. De acordo com Baker *et al.* (2006), os inventários são executados através de três procedimentos, em sua maioria: trabalhos de campo, foto interpretação de imagens aéreas e processamento digital de imagens de satélite. O processamento digital de imagens de satélite é considerado o melhor, pois demanda menor tempo para aquisição da informação e elaboração dos mapas (Mellack, 2004). Todavia, análises que requerem um elevado detalhamento da informação demandam um levantamento criterioso de dados de campo.

A quantidade e o tipo de informação disponíveis para os inventários estão relacionados com a plataforma de aquisição de dados. No caso dos satélites passivos e multiespectrais, pode-se citar o Ikonos, capaz de gerar imagens de alta resolução, contendo elevado grau de detalhamento; e o Landsat, que produz informações com menor resolução espacial mas tem a vantagem de suas imagens serem distribuídas gratuitamente e estarem disponíveis em um gradiente temporal de aproximadamente 40 anos. Apesar das imagens Ikonos apresentarem elevado custo e não serem disponibilizadas em séries históricas, sua importância é apontada pelos recentes sucessos na extração de informação sobre as tipologias de terras úmidas (Dechka *et al.* 2002). Todavia, o elevado grau de informação dessas imagens demanda a aplicação de um conjunto de técnicas mais sofisticadas que aquelas baseadas no pixel. Tem sido revelado que a exploração da informação em sua totalidade exige técnicas mais sofisticadas de classificação baseadas no objeto, ou seja, capazes de preservar a consistência espacial dos elementos a serem classificados. Recentemente, abordagens mais elaboradas incorporando informações sobre contexto e textura estão sendo desenvolvidas para melhorar a qualidade das classificações e distinguir um maior número de classes. Nesse cenário, considerando a relevância do RVS do Rio Pandeiros na manutenção da qualidade da água e da biodiversidade local, a carência de estudos de sensoriamento remoto nessa região e a possibilidade de acessar um grande número de informações baseando-se na tipologia vegetal, torna-se um interessante objeto de estudo o uso de imagens óticas de alta resolução para construir um inventário preliminar desse ambiente, que subsidie o manejo da unidade de conservação.

1.2 Objetivos

Apesar do Brasil reconhecer a importância das terras úmidas através da assinatura da Convenção Ramsar, observa-se que há carência tanto de uma definição para esse ambiente, quanto de esforço para reconhecer a importância e localização desses sítios. O Rio Pandeiros representa um ambiente único no Norte de Minas Gerais, onde se destaca a planície de inundação próxima à sua foz. Esse complexo ambiente, formado pela variação sazonal da água que extrapola o leito do rio, forma um importante sítio de terras úmidas, áreas fundamentais para a manutenção dos solos, estoque de carbono e conservação da biodiversidade. Uma vez que o Rio Pandeiros é um importante contribuinte do Rio São Francisco, essa série de funções faz com que o manejo e preservação desse ambiente seja ponto chave na conservação das características da bacia do Rio São Francisco. Portanto, empregar o sensoriamento remoto, com base em diferentes sensores e técnicas de processamento, no mapeamento das feições que compõem essas áreas, permitirá gerar informações úteis ao manejo dessa região.

Esse estudo tem como objetivo avaliar a aplicação de técnicas de classificação na caracterização dos ambientes de terras úmidas que compõem a planície de inundação do RVS do Rio Pandeiros, a partir do uso de imagens de alta resolução. Também almeja contribuir com a definição de terras úmidas e apontar a importância desse local para reconhecimento como Sítio Ramsar.

A partir desse enfoque, os objetivos específicos foram:

- Mapear as fitofisionômias que compõem a área de estudo alocada na planície de inundação do Refúgio de Vida Silvestre do Rio Pandeiros.
- Testar algoritmos de segmentação para a classificação das tipologias encontradas na planície de inundação do Rio Pandeiros em imagens Ikonos.
- Testar o uso da textura em imagens Ikonos para a distinção das tipologias que compõem a área de estudo como informação complementar para as segmentações.

Capítulo 2

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Terras úmidas

2.1.1 Definição

As definições de terras úmidas giram em torno de três aspectos principais: hidrológico, pedológico e vegetacional. Do ponto de vista hidrológico, observa-se que essas podem estar presentes tanto em áreas litorâneas, quanto no interior do continente, sendo possível observar um gradiente de salinidade. Quanto à saturação, as águas podem estar presentes na zona de fixação das raízes ou expostas na superfície, cobrindo parte da vegetação. Os solos apresentam condições únicas, diferentes das terras adjacentes e são denominados solos hídricos, solos que, sob condições de saturação, inundação ou retenção da água por períodos longos o suficiente durante a época de chuvas, são capazes de desenvolver condições anaeróbicas na parte superior do solo (Federal Register, 1994). Em relação à vegetação, é marcante, em sua parte superior, a presença de macrófitas aquáticas, plantas adaptadas às condições úmidas, e a ausência de biota intolerante a inundações.

No continente americano, países como o Canadá e Estados Unidos da América do Norte - EUAN - possuem suas próprias definições de terras úmidas estabelecidas por comissões de especialistas, o que não ocorre para os países da América do Sul, onde observam-se tentativas isoladas de especialistas na elaboração de um conceito. No contexto sul-americano, destaca-se a definição de Neiff (1997) para os grandes sistemas de terras úmidas, visto que o autor trabalha com conceitos em uma escala continental. Além desses conceitos, um esforço da União Internacional para a Conservação da Natureza e Recursos Naturais (IUCN) adotou uma definição para orientar o estabelecimento de terras úmidas intencionalmente. Esse conceito foi estabelecido no tratado que resultou da Convenção de Terras Úmidas, que ocorreu em Ramsar, no Irã, em 1971. Atualmente, o tratado intergovernamental conta com 159 países participantes e reconhece um total de 1.838 áreas de terras úmidas (Ramsar Convention Secretariat, 2008)

Nos EUAN, foi definido, pelo Conselho Nacional de Pesquisa (National Research Council, 1995), o seguinte conceito:

“as terras úmidas são um ecossistema que depende de constante ou recorrentes inundações rasas ou saturação próxima ou na superfície do substrato. As características mínimas e essenciais são inundações recorrentes, inundações sustentadas ou saturação próxima ou na superfície onde a presença de características físicas, químicas e biológicas são a reflexão de inundações recorrentes, inundações sustentadas ou saturação. Características comuns de terras úmidas são solos hídricos e vegetação composta por macrófitas. Essas não estarão presentes apenas onde fatores físico-químicos, bióticos ou antropogênicos específicos tenham sido removidos ou impedidos de desenvolver”.

A versão adotada pelo Grupo Canadense de Trabalho em Terras Úmidas (National Wetlands Working Group, 1997) define que terras úmidas são:

“terras que são saturadas com água por tempo suficiente para promover terras úmidas ou processos aquáticos como indicado por solos pobremente drenados, vegetação hidrófita e vários tipos de atividades biológicas que são adaptadas a ambientes úmidos”

A proposta de Neiff (1997) define os ambientes úmidos como sistemas de cobertura sub-regional nos quais a presença de uma lâmina d'água temporal de espessura variável, espacialmente e temporalmente, condiciona fluxos biogeoquímicos propícios para formação de solos com acentuado hidromorfismo e uma biota peculiar por processos de seleção evolutiva que têm padrões próprios de dinâmica e estrutura.

O conceito estabelecido na convenção Ramsar foi elaborado com o intuito de ser mais abrangente a fim de atender a diversidade de formações encontradas no planeta. Essa define terras úmidas como:

“áreas de pântano, brejo, solos ricos em matéria orgânica ou águas onde naturalmente ou artificialmente, permanentemente ou temporariamente, com água fluindo ou parada, doce ou salgada, incluindo áreas marinhas, com profundidade durante a maré baixa que não ultrapasse 6 metros” (Ramsar Convention Secretariat, 2008).

Apesar de todas as definições abordarem os conceitos de águas rasas ou condições saturadas, solos únicos de terras úmidas e vegetação adaptada, a combinação desses três fatores é complexa, o que dificulta a formulação de uma definição precisa. Essa complexidade é retratada em diversos fatores como: na profundidade e duração das inundações que variam tanto no tempo quanto no espaço; na influência exercida pelo entorno, seja da área constantemente alagada ou da região que não sofre inundação; na presença tanto de espécies polivalentes, que vivem em locais secos ou molhados, quanto de espécies adaptadas ao regime hídrico desses locais. Somando-se a esses fatores, tem-se uma grande variedade de tamanhos, formas e localizações dos ambientes de terras úmidas (Mitsch e Gosselink, 2000).

Nesse trabalho, adotou-se o conceito canadense, por ter uma redação mais simples e intuitiva, capaz de contemplar as principais características dos sítios de terras úmidas.

2.1.2 Terras úmidas em Terras Secas: o caso das planícies aluviais

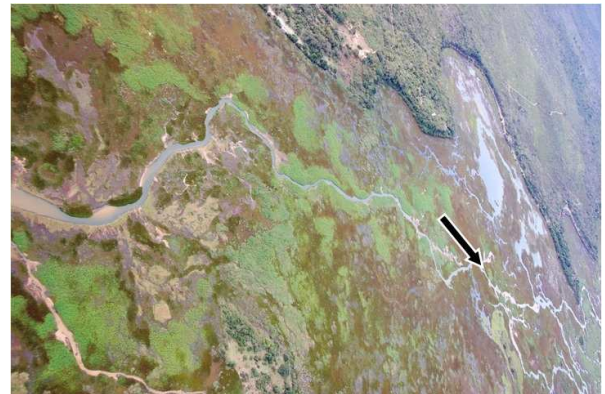
Em oposição às características das terras úmidas, estão as terras secas que, devido a baixa razão entre a precipitação e o potencial de evapotranspiração, compõem regiões áridas, tornando a presença de terras úmidas possível apenas onde o balanço hídrico das águas superficiais é positivo durante parte ou todo o ano (Tooth e McCarthy, 2007). Em regiões áridas, os rios desempenham papel fundamental em relação às terras úmidas que estão associadas a esses e a sua dinâmica de cheias e vazantes, que podem ser divididas em cheias perenes, que são mantidas por rios perenes com origem em regiões úmidas; cheias regulares mas sazonais, relacionadas com rios intermitentes ou extravasamento sazonal de rios perenes no período chuvoso, e cheias casuais, associadas a rios que sofrem cheias ocasionais relacionadas com episódios de chuvas intensas freqüentemente (Tooth e McCarthy, 2007).

As planícies aluviais formam pontos chaves do processo de recarga hídrica em ambientes áridos, pois retornam a água para o rio lentamente, após terem o solo saturado com a abundância de água do período chuvoso. Essa etapa tem duração de alguns meses e é crucial para a manutenção dos cursos d'água nos períodos de estiagem. A geomorfologia típica de ambientes sazonais faz com que algumas características sejam marcantes nesses ambientes, tais como: canais anastomosados, lagoas em forma de semi-lua, meandros abandonados (Figura 2.1), sendo os sedimentos predominantemente finos, que permitem o adequado armazenamento de nutrientes e sais. Além disso, a dinâmica de cheias e vazantes é

responsável pelo fluxo e translocação de materiais minerais, orgânicos e informação biótica (Neiff, 1997).



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 2.1: Fotografias ilustrando a geomorfologia dos ambientes sazonais: (a) e (b) canais anastomosados, (c) e (d) lagoas em forma de meia lua, (e) e (f) meandros abandonados. Fotografias: Ivan Barbosa.

Estudos recentes, destacam a singularidade desses ambientes e reportam que a existência de fenômenos recorrentes e processos químicos e físicos específicos propiciaram a seleção de toda uma biota adaptada a essas condições únicas, que, portanto, não devem ser tratadas como uma zona de transição entre ambientes aquáticos e terrestres.

A distribuição da biota em rios contendo planícies de inundação depende dos pulsos e períodos de inundação, que provocam fortes modificações no ambientes e causam “stress” na biota local, desencadeando o reinício dos ciclos bióticos (Junk et al.,1989). Bonetto (1976) afirma que os ecossistemas que compõem os rios passam por um processo de rejuvenecimento quando sofrem ação dos processos de inundação. A influência dos pulsos na biota aquática pode ser constatada no comportamento das sementes de várias plantas aquáticas que germinam somente em solos úmidos e quando há uma fase de águas baixas e solo emergente (Neiff, 2003). Quando áreas permanecem alagadas por longos períodos, levando à inibição sucessiva de períodos de germinação, as populações que previamente ocupavam essas áreas podem ser incapazes de repor o estrato da população, acarretando um declínio.

A sazonalidade dos pulsos de inundação, assim como os tipos de drenagem (abertas ou fechadas), tipo de solo, disponibilidade de nutrientes e dinâmica de escoamento estão relacionados com a plasticidade morfológica observada em várias macrófitas (Pott e Pott, 2002).

2.2 Importância e Conservação dos Ambientes de Terras Úmidas

Os ambientes de terras úmidas são elementos vitais para a conservação da biodiversidade pois servem de abrigo, área de reprodução e berçário para diversas espécies ameaçadas, especialmente de peixes e aves migratórias. São também áreas fundamentais para a ciclagem de nutrientes, recarga de aquíferos, controle de enchentes e conservação do solo e água. Entretanto, a maioria das estimativas indicam que mais de 50% das terras úmidas do mundo têm sido alteradas, degradadas ou perdidas nos últimos anos (Dugan.1993). Sendo que, essas alterações têm dentre as suas principais causas cinco fatores antropogênicos: a perda de habitat, alterações nos regimes hídricos, mudanças na qualidade da água, exploração não sustentável dos recursos e introdução de espécies exóticas (Mitsch e Gosselink, 2000).

No âmbito nacional, a conservação dessas áreas tem sido feita, especialmente, através da criação de unidades de conservação que restringem o uso e ocupação do solo. Na bacia do

Rio Pandeiros, observa-se que ocorreu a adoção de duas categorias de unidades de conservação (UCs), sendo uma classificada como Área de Proteção Ambiental e outra como Refúgio de Vida Silvestre (Figura 2.2). A primeira está inserida no grupo de UCs de uso sustentável, que permite o uso direto, e tem como objetivo básico combinar o uso dos recursos naturais com a conservação da natureza. A segunda enquadra-se no grupo de UCs de proteção integral e foi estabelecida próximo à foz do Rio Pandeiros a fim de assegurar a preservação desse ambiente (Brasil, 2000).

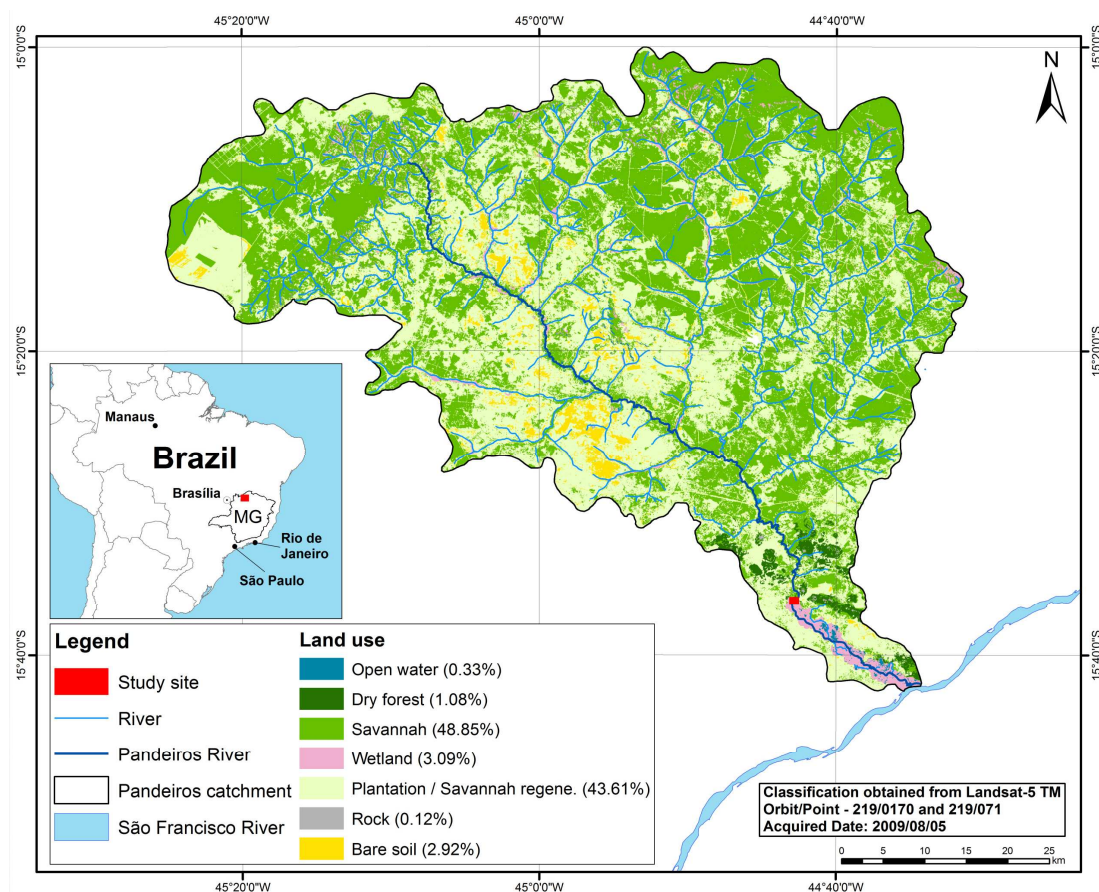


Figura 2.2: Mapa de cobertura do solo da Área de Proteção Ambiental da Bacia do Rio Pandeiros. Fonte: Thiago Alencar Silva – 2010.

Apesar desses esforços, observa-se que a carência de uma legislação mais abrangente faz com que extensas áreas de terras úmidas, não inclusas em unidades de conservação, sejam freqüentes alvos de ocupação humana. No caso das planícies de inundação, distinguidas por sua heterogeneidade espaço-temporal, ora inundadas e ora secas, há dificuldade de estabelecer a sua proteção, uma vez que não existem leis específicas para a sua conservação. Na legislação brasileira, a definição legal que mais se aproxima desses ambientes refere-se às APPs descritas no Código Florestal como: “florestas e demais formas

de vegetação natural, coberta ou não por vegetação nativa, ao longo dos rios desde seu mais alto nível em faixa marginal” (Brasil.1965). Como legalmente as APPs são responsáveis pela preservação dos recursos hídricos, biodiversidade e estabilidade geológica (Brasil, 2001), justifica-se a proteção das planícies de inundação a partir do princípio de que a lei deve atingir os seus objetivos (Benatti *et al.*, 2005). Contudo, observa-se que o conceito protege apenas as florestas e formações vegetais de terra firme, uma vez que exclui as áreas localizadas abaixo do leito maior. Essas áreas são muitas vezes drenadas, objetivando-se tornar o ambiente mais apropriado para o crescimento de gramíneas ou o estabelecimento de culturas. Nesse processo, forma-se um canal de drenagem que define o leito do rio, o que permite aplicar a lei de APPs, que assegura a proteção da vegetação no entorno do canal, ou seja, a lei protege o ambiente apenas após a intervenção e degradação humana. Mactaggart *et al.* (2006) descreve problema semelhante, que ocorre com ambientes de terras úmidas na Austrália, e ressalta que a incerteza de terminologias restringe a nossa habilidade de conservar e restaurar essas áreas.

2.3 Caracterização dos Biomas Onde se Insere a Área de Estudo

A área de estudo encontra-se em uma região onde a vegetação é caracterizada como de transição entre os biomas caatinga e o bioma cerrado.

O bioma caatinga ocupa aproximadamente 10% do território brasileiro e caracteriza-se por um complexo de vegetação xerófila constituída por vegetais lenhosos, cactáceas e bromeliáceas rígidas. Em Minas Gerais, duas fisionomias vegetais desse bioma destacam-se: a caatinga arbórea (Figura 2.3) e a caatinga hiperxerófila. A caatinga arbórea caracteriza-se por árvores com dossel superior a 6m quando encontradas em afloramentos rochosos, e superior a 15m em solos mais profundos. As árvores perdem mais de 70% da massa foliar no período de seca e raramente são encontradas epífitas associadas a essas. Bromélias e cactáceas terrestres, assim como palmeiras e lianas ocorrem nessa formação. A caatinga hiperxerófila apresenta árvores e arbustos esparsos com predomínio de subarbustos lenhos e esclerófilos, plantas suculentas, rupícolas e rasteiras (UFLA, 2006).



(a)



(b)



(c)

Figura 2.3: Fotografias ilustrando a caatinga arborea: (a) vista do chão, (b) vista aérea do dossel, (c) vista aérea de um fragmento. Fotografias: Ivan Barbosa.

O bioma cerrado é o segundo maior bioma do país e, devido ao alto grau de endemismo e elevada pressão antrópica, está inserido na lista de Hot Spots, áreas prioritárias para a conservação no planeta (Myers, 2000). Ele encontra-se completamente inserido na região tropical, ocupando principalmente o platô central do Brasil. Sua composição florística

é diversa e é reunida em três grupos distintos: o cerrado *lato sensu*, as florestas sazonais mesófilas e as matas ribeirinhas. Além desses, a variação em períodos de excesso de água e déficit favorece a ocorrência de tipologias específicas (Figura 2.4), compostas significativamente por herbáceas, sendo essas: as veredas, as planícies de inundação e os campos rupestres (Oliveira-Filho e Ratter, 2002). O cerrado *lato sensu*, por sua vez, divide-se em cinco fitofisionomias e são essas: a) campo formado por áreas abertas de gramíneas, b) campo sujo constituído por gramíneas, arbusto e pequenas árvores espaçadas, c) cerrado *stricto sensu* caracterizado pelo domínio de árvores e arbustos, frequentemente com o tamanho variando entre 3 a 8 metros, com a presença de gramíneas no extrato inferior, d) cerradão formado por árvores variando de 8 a 12 metros, apresentando uma cobertura de copa superior a 50% e contendo um extrato herbáceo menos desenvolvido devido à presença de sombras. As florestas sazonais mesófilas são divididas em florestas decíduas, que se caracterizam por uma comunidade pobre em espécies de árvores que perdem as folhas no período seco, e semidecíduas constituídas por uma maior riqueza de espécies que perdem as folhas parcialmente no período seco. Dentre as florestas decíduas, encontram-se as matas secas que se desenvolvem sobre material calcário e são encontradas na porção Norte de Minas Gerais, tipologia, muitas vezes, incluída também no Bioma Caatinga. As matas ribeirinhas estão presentes próximas aos corpos d'água e não sofrem com as variações drásticas na umidade do solo, o que permite o estabelecimento de espécies típicas de ambientes úmidos (Oliveira-Filho e Ratter, 2002). Além dessas tipologias típicas, destacam-se as que ocorrem nas planícies de inundação inseridas no Bioma Cerrado. Essas são caracterizadas por áreas planas em terras firmes, que são afetadas por inundações periodicamente, podendo formar lagos superficiais e ambientes de terras úmidas (Diegues, 1994). Dentro desses ambientes são encontradas as florestas paludosas, formadas por espécies de árvores com adaptações especiais ao excesso de água; os campos úmidos alocados sobre solos saturados hidricamente e compostos predominantemente por herbáceas; os brejos onde também há o predomínio de herbáceas mas que são inundados periodicamente durante o período de chuvas e permanecem úmidos no período de seca; as lagoas colonizadas por comunidades vegetais adaptadas a ambientes aquáticos - macrófitas aquáticas (UFPA, 2006).



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 2.4: Fotografias ilustrando o cerrado: (a) cerrado sensu stricto – Parque Estadual do Rio Preto, (b) campo – Parque Nacional Serra da Canastra, (c) mata de galeria - Refúgio de Vida Silvestre Pandeiros, (d) planície de inundação – RVS Pandeiros. Fotografias: Ivan Seixas Barbosa.

2.4 Macrófitas Aquáticas

Os organismos que compõem a biota da Terra possuem ancestrais com origem em ambiente aquático. Durante o processo evolutivo, as linhagens de plantas contemporâneas tiveram as adaptações relacionadas com a colonização de ambientes terrestres selecionados, como, por exemplo, a cutícula, cobertura externa que minimiza a perda d'água; os estômatos, mecanismo que permite a troca de gases com o meio externo, a formação do sistema vascular e de sustentação. Em um segundo momento, observa-se que determinados ramos filogenéticos fizeram o caminho inverso da terra para água, o que propiciou a seleção de

características vantajosas à vida na água, como o acúmulo de gases nos arênquimas, a disposição dos cloroplastos na porção superior da folha, o menor investimento na formação de sistemas de sustentação, a redução ou ausência de estômatos. Nessas linhagens, são encontradas a maioria das plantas definidas como macrófitas aquáticas. Esse termo passou a ser aceito internacionalmente após a criação do Programa Internacional de Biologia (PIB), quando pesquisas relacionadas a esses organismos foram impulsionadas. Previamente, diversos termos eram utilizados para nomear esses vegetais: heliófitas, hidrófitas, macrohidrófitas, fanerogramos aquáticos entre outros (Thomaz e Bini, 2003).

Entretanto macrófitas aquáticas é um termo genérico que, além dos vegetais superiores, inclui musgos e algas conspícuas associadas a ambientes de terras úmidas. A reunião de espécies que não possuem um mesmo ancestral comum em um único grupo torna esse conjunto parafilético. Todavia, apesar de ser um agrupamento artificial, esse representa uma interessante unidade ecológica, pois diversas características análogas são encontradas entre os organismos que estão adaptados às condições de excesso hídrico.

Esses organismos fornecem a base da teia alimentar, pois produzem matéria orgânica através do processo fotossintético, o que os classificam como produtores primários. Todavia, a produção primária depende dos fatores limitantes impostos pelo ambiente, tanto superiores quanto inferiores, dentre esses se encontram a luz, o nitrogênio, o fósforo e a temperatura (Odum, 1998). Em condições favoráveis, a produtividade pode aumentar como consequência de um aumento no sucesso de reprodução tanto vegetativa quanto sexuada (Gopal, 1990). Entretanto, quando as condições estão próximas dos limites toleráveis, observa-se que a fotossíntese será realizada a fim de atender apenas à manutenção do organismo. Como algumas espécies respondem rapidamente a essas variações ambientais, o acompanhamento desses organismos é útil para o monitoramento do ambiente. Esses organismos são enquadrados em sete grupos, de acordo com a forma biológica que apresentam, conceito que enquadra a planta de acordo com seu hábito em relação à superfície da água (Irgang e Junior, 1996).

- Anfíbia ou semi-aquática: podem viver tanto em ambiente terrestre quanto em áreas alagadas. Apresentam plasticidade morfológica em geral perceptível quando comparados exemplares de ambiente aquático com os de terra firme.
- Emergentes: as raízes fixam-se no fundo e apresentam as suas estruturas parcialmente submersas e parcialmente fora d'água.
- Flutuante fixa: As raízes fixam-se no fundo, mas estruturas como ramos, caules e

folhas são flutuantes, acompanhando a variação de nível de água.

- Flutuante livre: não se fixa ao substrato e pode ser carregada pela ação de correntezas, cheias e ventos.
- Submersa fixa: apresenta as raízes fixadas no substrato e suas estruturas não ultrapassam a superfície da água, exceto as flores que são expostas acima do nível da água.
- Submersa livre: não se fixa ao substrato, suas estruturas ficam totalmente submersas, expondo apenas as flores no período reprodutivo.
- Epífita: espécies capazes de instalar-se sobre outras plantas aquáticas.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Figura 2.5: Fotografias ilustrando as famílias mais abundantes de macrófitas aquáticas na área de estudo: (a) Alismataceae, (b) Cyperaceae, (c) Nymphaeaceae, (d) Pontederiaceae, (e) Complexo contendo diversas espécies de macrófitas aquáticas. Fotografias: Ivan Barbosa.
Relação homem - macrófitas: benefícios e problemas

Há uma gama de interesses econômicos listados para as plantas aquáticas, que variam do uso ornamental ao médico. Algumas espécies possuem princípios ativos fitoterápicos úteis no tratamento de enfermidades, como a espécie *Pistia stratiotes* (alface-d'água) utilizada em casos de inflamações na pele e urinárias (Palombo e Pereira, 1992), enquanto outras são dotadas de grande beleza, o que levou à especialização de determinadas empresas de paisagismo a trabalhar apenas com plantas aquáticas (Pott e Pott, 2002).

Há espécies que podem ser utilizadas na alimentação do gado e como biofertilizante. Entretanto, muitos fazendeiros optam pela substituição da cobertura vegetal natural por gramíneas exóticas resistentes a inundações, que produzam maior biomassa, viabilizando a manutenção de uma maior quantidade de gado em uma mesma área de pasto (relato de fazendeiro da região). No RVS Pandeiros, essa prática vem alterando a paisagem e diminuindo a diversidade local.

Outras são utilizadas na culinária de países asiáticos, atreladas ao consumo de peixes. A expansão da gastronomia oriental para outros países fez com que a demanda por esses produtos aumentasse, e hoje países como o Japão, China e Korea lideram a comercialização de algas desidratadas. No ramo alimentício, ainda há espécies reconhecidas por serem úteis para a produção de mel, propiciando o desenvolvimento da apicultura em regiões alagadas.

Outros usos econômicos listados para as macrófitas são o uso conservacionista, têxtil e despoluidor.

Dentre os problemas ocasionados por macrófitas, o mais freqüente é a proliferação descontrolada desses organismos. Isso ocorre quando a presença de matéria orgânica em excesso em um corpo d'água provoca a sua eutrofização. Essa matéria, após ser decomposta, aumenta a disponibilidade de nutrientes que serão absorvidos, em sua maior parte por macrófitas, especialmente as flutuantes. A elevada densidade desse organismo gera uma série de problemas, pois propicia a proliferação de organismos patogênicos e venenosos. Esses se encontram protegidos pelo sistema radicular dessas plantas que lhes servem de alimento e potencializam a dispersão dessas doenças, pois os carregam a grandes distâncias. Somando-se a isso, explosões populacionais de macrófitas dificultam o trânsito de embarcações, causam alta perda de água devido à absorção e evapotranspiração, desvalorizam bens imóveis, contribuem para o assoreamento e diminuem a qualidade da água devido ao aumento dos detritos orgânicos e acúmulo de nutrientes (Palombo e Pereira, 1992).

2.5 Mapeamento de Terras Úmidas

As terras úmidas apresentam combinações de fatores abióticos que propiciam uma alta diversidade de microhabitats capazes de abrigar elevado número de espécies vegetais. A grande variação das características do ambiente, tanto temporalmente, quanto espacialmente, faz com que a aplicação do sensoriamento remoto seja um desafio. Esse, todavia, é considerado a única ferramenta efetiva de mapeamento (Melack, 2004), uma vez que as terras úmidas ocupam áreas frequentemente extensas e de difícil acesso. A definição mais aceita considera que o sensoriamento remoto é a ciência, a arte e a tecnologia de obter informações sobre o ambiente e objetos, com o uso de sensores que dispensam interação direta com os alvos de estudo (ASPRS, 2005). Os sensores são mecanismos capazes de medir a intensidade da energia eletromagnética e fazem parte do sistema de aquisição da informação. Esses variam de acordo com a capacidade de distinguir objetos na superfície, a faixa do espectro eletromagnético em que atuam, a informação e a freqüência com que imageiam. Sucintamente, o funcionamento desses baseia-se na energia gerada pelo sol ou sensor que, após atravessar a atmosfera, interage com os objetos da superfície, que a absorvem parcialmente, refletindo a outra porção. A energia refletida é detectada pelos sensores e transformada em informação armazenada em códigos binários que compõem as

imagens. Uma segunda etapa é a aplicação de técnicas que permitem tanto corrigir, quanto extrair informações das imagens. O sistema de aquisição juntamente com o de processamento compõem o sensoriamento remoto.

No caso das terras úmidas, observa-se que, até os anos 90, o inventário a partir do sensoriamento remoto focou na compreensão de grandes áreas com base em imagens pouco detalhadas devido ao elevado custo de fotografias aéreas e disponibilidade de imagens de baixa resolução (Dechka *et al.*, 2002). Entretanto, com o lançamento de novos satélites capazes de gerar imagens de alta resolução, uma série de novas perspectivas surgem como, por exemplo, a identificação e delimitação de tipologias vegetais com maior precisão.

O número de produtos advindos de sensores com alta resolução espacial, entre 1 - 5m, aumentou consideravelmente nas última duas décadas. Dentre esses, podemos citar o IRS-1CD satélite indiano com uma banda pancromática de 5,8 x 5,8m, Ikonos e Orb View 3 com pancromático de 1 x 1m e 4 x 4m no multiespectral, Quick bird com resolução de 0,61 x 0,61m no pancromático e 2,44 x 2,44m no multiespectral, o HRC do CBERS-2b com 2,7m no pancromático. Cabe ressaltar que a fusão da informação multiespectral com a banda pancromática possibilita um acréscimo de informação quando comparado com a banda pancromática isoladamente (Jensen, 2005).

O satélite IKONOS (Tabela 2.1) produz imagens com quatro bandas espectrais que são denominadas de acordo com a faixa do espectro eletromagnético que cobrem, sendo essas: banda azul, que possui grande penetração em águas transparentes e portanto é bastante utilizada na análise de corpos d'água; banda verde, que é sensível à presença de sedimentos em suspensão e possui boa penetração em corpos d'água; banda vermelha, caracterizada pela elevada absorção pela vegetação fotossintética que propicia o destaque das áreas ocupadas com vegetação densa; banda infra-vermelho, onde sobressai a vegetação densa, devido à elevada reflexão de energia, e aos corpos d'água, devido à alta absorção da energia, apresentando-se nesse caso como corpos escuros (Novo, 1992). Esse conjunto de bandas associado à riqueza de detalhes dessas imagens faz com que a sua interpretação demande o reconhecimento de diversas formas e texturas. Trabalhos envolvendo imagens Ikonos têm conseguido atingir bons resultados para a extração de dados sobre composição e estrutura de fragmentos florestais (Chubey *et al.*, 2002), assim como demonstram grande potencial para a classificação e estimativa de biomassa das tipologias vegetais que compõem os ambientes de terras úmidas (Dechka *et al.* 2002; Dillabaugh e Douglas, 2008).

Tabela 2.1: Características técnicas do satélite Ikonos.

Resolução espacial	Pancromática: 1 m / Multiespectral: 4 m
Bandas espectrais	Pan 0,45 - 0,9 μ Azul 0,45 - 0,52 μ Verde 0,52 - 0,6 μ Vermelho 0,63 - 0,69 μ Infra-vermelho próximo 0,76 - 0,9 μ
Imageamento	13Km na vertical (cenas de 13 Km x 13 Km)
Frequência de revisita	Aproximadamente 3 dias
Capacidade de aquisição das imagens	Faixas de 11 km x 100 km até 11 km x 1000 km Mosaicos de até 12.000 km ² 20.000 km ² de área imageada numa passagem
Altitude	680 km
Inclinação	98,1°
Velocidade	7 km/s
Sentido da órbita	Descendente
Duração da órbita	98 min.
Tipo de órbita	Sol-síncrona

A classificação é o método para segmentar a imagem em regiões com atributos similares e apresenta dois métodos tradicionais: a classificação supervisionada e não supervisionada. A primeira está dividida em dois estágios: um, de reconhecimento das categorias dos objetos do mundo real, que exige definir o número e a natureza das categorias, e o outro, de rotulação da informação, que demanda determinar rótulos numéricos para os pixels (Mather, 2004). Nesse método, escolhem-se grupos de pixels, que são reunidos em áreas de treinamento e teste, de acordo com o conhecimento que se tem da área. O primeiro grupo é selecionado e informa-se a qual área esse pertence (Barret e Curtis, 1982), enquanto o segundo é apresentado ao sistema como área teste. A comparação quantitativa entre esses

dois grupos permite avaliação da acurácia da classificação (Asrar, 1989). A segunda consiste em um método exploratório que não requer que a cobertura da terra seja definida em categorias, portanto vários agrupamentos podem pertencer a uma única classe. Essa é utilizada quando há documentação insuficiente sobre a área, o que impede estimar o centro médio das classes e, por vezes, até mesmo o número de classes é desconhecido.

Todavia, a riqueza de detalhes contida nas imagens de alta resolução requerem técnicas de classificação mais sofisticadas. Apesar dos processos citados anteriormente serem um importante ponto de partida, esses produzem resultados aquém daqueles que poderiam ser extraídos das imagens de alta resolução. Essas demandam técnicas de classificação que levem em consideração o contexto. Yu e Clausi (2008) propuseram um novo classificador baseado nos campos aleatórios de Markov, que definem que a rotulação de um sítio depende unicamente dos seus vizinhos (Tso e Mather, 2001). Para tanto, foi desenvolvido o software MAGIC (Map Guided Image Classifier) na Universidade de Waterloo em Ontário. Outra proposta interessante consiste no uso da informação sobre textura, empregando-se a matriz de coocorência, um histograma de segunda ordem, na qual cada entrada representa a probabilidade de encontrar dois valores da escala de cinza, a uma certa distância e direção um do outro, em uma janela predefinida (Maillard, 2003).

Capítulo 3

Artigo 1- Mapeando um complexo de terras úmidas na savana brasileira, a partir de uma imagem Ikonos: acessando o potencial de um novo classificador baseado no objeto.

Mapping a wetland complex in the Brazilian savannah using an Ikonos image: assessing the potential of a new region-based classifier

Research Paper (30th Canadian Symposium of Remote Sensing Special)

Ivan Seixas Barbosa¹² and Philippe Maillard¹

¹Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Av. Antônio Carlos, 6627, Belo Horizonte - MG, Brazil,

Tel. +55-31-3409-5427 Fax. +55-31-3409-5410,

E-mail: ivansbarbosa@gmail.com philippe@cart.igc.ufmg.br

²Instituto Estadual de Florestas de Minas Gerais, Belo Horizonte – MG, Brazil,

Tel. +55-31-3219-5546

ABSTRACT

The Pandeiros is a unique wetland in Northern Minas Gerais, Brazil. Even though it is an official wildlife sanctuary, it suffers from increasing degradation from livestock grazing and other forms of human activities. The absence of specific laws defining and protecting wetlands in Brazil is partly responsible for this situation. Having no official designation, most environments of the Pandeiros have not yet been identified or characterized as wetlands. In this article, we present a comparison between an unsupervised region-based classification approach and traditional supervised and unsupervised classification techniques for mapping different environments within this complex wetland system. All three classification methods were tested and their results compared with field data and with an interpreted reference map. The results suggest that traditional supervised and the new region-based approach have good potential for identifying the main vegetal physiognomies but that the latter yielded superior results with an estimated accuracy of 95% against 88%. The region-based approach had the advantage of a much superior spatial consistency and allowed easier visual interpretation of the classified image. In a second accuracy assessment, we compared the results with a visually interpreted reference map, and obtained total accuracies of 70%, 41% and 39% for the region-based, maximum likelihood and unsupervised ISODATA algorithms respectively.

Keywords: Wetlands, High resolution image, Ikonos, Segmentation, Macrophytes

RÉSUMÉ

Le Pandeiros est un complexe de terres humides du nord du Minas Gerais au Brésil. Malgré le fait d'être un sanctuaire officiel de la faune, la région souffre de plus en plus de dégradation dues au pâturage et à d'autres formes d'activités humaines. L'absence de lois spécifique qui définient et protègent ces environnements est partiellement responsable de cette situation. N'ayant pas de désignation officielle, la plupart des environnements du Pandeiros n'ont toujours pas été identifiés ou caractérisés comme terres humides. Dans cet article, nous présentons une comparaison entre une approche de classification basée par objet et des algorithmes traditionnels de classification supervisée et non-supervisée pour la cartographie des différents environnements qui composent ce complexe de terres humides. Les trois méthodes ont été testées et leurs résultats comparés avec des données de terrain et une carte interprétée de référence. Les résultats suggèrent que l'approche supervisée traditionnelle et l'approche basée par objet présentent tous deux un bon potentiel pour identifier les principales physiologies végétales mais que ce dernier offre des résultats supérieurs avec une exactitude estimée de 95% contre 88%. L'approche basée par objet a l'avantage d'une meilleure consistance spatiale qui facilite l'interprétation de l'image classifiée. Dans une seconde approche d'évaluation, nous avons comparé les résultats avec une carte interprétée de référence et obtenu des précisions de 70%, 41% et 39% pour l'approche basée par région, le maximum de vraisemblance et l'ISODATA respectivement.

Mots clefs : Terres humides, Image de haute résolution, Ikonos, Segmentation, Macrophytes

INTRODUCTION

Wetlands provide several essential ecosystem services (Constanza, 1997). In 1971, an intergovernmental treaty, the Ramsar Convention, was signed aiming to build a framework for the conservation and wise use of these areas (Ramsar 2006). Although Brazil is part of this agreement, there is no legal concept of wetlands in Brazilian laws, and few programs aiming to protect these areas have been developed. The absence of an agenda to protect these environments is a national contradiction, since Brazil holds 44% of all fresh water resource within Latin American and 12% of the world's (FAO, 2002). The conservation of these areas requires mapping their location and characteristics and monitoring how human activities impact them.

Due to the lack of a national definition of wetlands, we adopted the concept established by Canada's National Wetlands Working Group (1997) which defines wetlands as environments where areas remain saturated long enough to promote aquatic processes as indicated by poorly drained soils, hydrophytic vegetation and a wide range of biological activity adapted to this sort of environment. Within that concept, the Pandeiros River floodplain is a unique area in Brazil that urgently needs to be studied, mapped and receive an adequate management plan. It is a swampy region surrounded by dry savannah vegetation, making it all the more important in its role for conserving biodiversity, recharging the aquifer, recycling nutrients and for a number of economic activities.

Although it is a rarely encountered environment within the Brazilian Cerrado and bears such an important function, few efforts are being dedicated to its preservation and sustainable management hence resulting in its gradual conversion into pasture and agriculture land threatening its very existence. In the past decades, large areas were drained to support human activities and an inventory is a key element for the conservation of the Pandeiros' wetlands. Such inventory requires a wide range of data including botanical, hydrological, geomorphological and land cover information. From the botanical point of view it presents a unique opportunity since the polyphyletic¹ group of plants named "aquatic macrophytes" (Cook, 1974) is found in a broad morphological diversity and responds quickly to environment changes. Their biological forms are related to their capacity to colonize different kinds of habitats in bodies of water and flooded areas (Irgang 1984). These variations increase the potential for remote sensing to be used for their detection and classification. This is

¹ organisms from two or more different monophyletic groups

consistent with Baker (2006) that claims the inventory of these environments depends mainly on field work, aerial photo interpretation and processing of digital satellite images. The latter usually demands less time for information acquisition and map production and is often considered the most efficient technique (Melack, 2004). Although high resolution information has been available since the advent of aerial photography, in Brazil, it only became widely accessible with the development of satellite-borne high resolution sensors.

High resolution satellite images, rich in details, increase the necessity for more sophisticated classification techniques. Traditional pixel-based techniques still constitute a starting point for many applications using high to very high resolution images (i.e. <5m) but are inefficient in taking full advantage of the level of details available. It has been suggested that only object-based approaches are capable of preserving the spatial consistency of the objects being classified (Jensen, 2005; p. 393). Recently, more elaborate approaches incorporating information about the context and texture have been developed to improve classification quality achieving higher accuracy and incorporating more classes. Comprehensive studies on the added value of spatial techniques and object-oriented classifiers are still sparse (Aksoy, 2008), especially in the case of wetland inventories. Recently, one such classifier has been proposed by Yu and Clausi (2008) for processing complex remotely sensed images using the Markov random fields' paradigm to account for the spatial information used in segmenting and classifying these images. They developed MAGIC (MAp Guided Image² Classifier) for this porpoise at the University of Waterloo in Ontario. Being still under development (version 2.0 was released in March 2010 but was not yet available at the time this article was submitted), very little work has been carried out with this new tool, least of all in the wetland environment.

Having identified the need to produce an inventory map of the Pandeiros' wetlands with a high level of details (to the plant family level) using high-resolution satellite images, the objective of the present study is to compare this new object-based classification algorithm implemented in the MAGIC software (Clasi *et al.*, 2008; 2009) with traditional supervised and unsupervised approaches. Two traditional classification algorithms were used, one supervised and one unsupervised, and both were available from the public domain MultiSpec software (Biehl and Landgrebe, 2002).

² Was originally Map Guided Ice Classification since it was primarily being developed for sea ice segmentation and classification.

MATERIALS AND METHODS

Study Area

The Pandeiros Wildlife Sanctuary (PWS) is located near the Pandeiros' River mouth, in the Northern part of the State of Minas Gerais (Figure 1). This river is an important affluent of São Francisco River and is the breeding grounds of several species of fish. It is also a refuge for numerous rare endemic and threatened bird species (Biodiversitas, 2005). The region is protected by the state government authorities and is managed by the Forest Institute of Minas Gerais (IEF-MG). Even though the PWS is considered a protected area, farming is still active and the land is still subject to private ownership. It occupies a total area of 6103 ha. and is recognized as a protected area preserving a unique wetland with riparian forests, palm swamps, wet meadows, lakes and ponds (Figure 2). Climate presents two distinct periods: wet season from October to March, and dry from April to September. This variation is characteristic of the Cerrado biome where water deficit spans for about half the year. Average precipitations varies from a high of 238.9 mm in December to a low of 3.1 mm in July. Most wetlands of the Cerrado are found within narrow riparian zones and a large wetland like the Pandeiros is unique given these climatic conditions. Permanently flooded zones other than large rivers are very rare and local human populations often depend on wetlands (mostly palm swamps or *veredas*) for their survival.

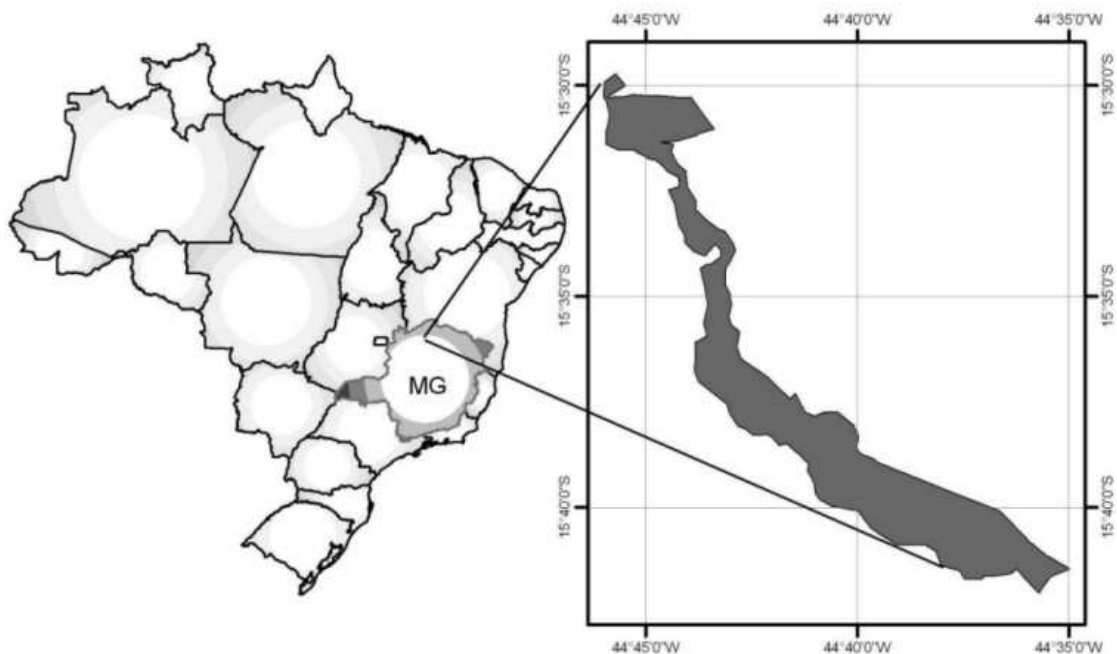


Figure 1. Location of Pandeiros Wildlife Sanctuary in Minas Gerais (MG) – Brazil.

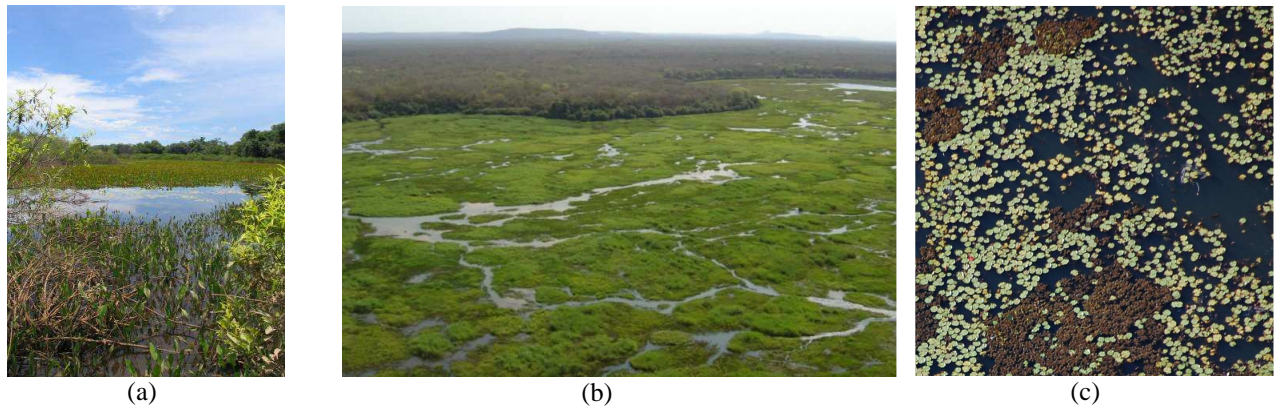


Figure 2. Wetlands configuration of the Pandeiros Wildlife Sanctuary: (a) a close range view of a succession of scrub, pond and macrophytes, (b) braided streams surrounded by wet meadows, (c) low altitude view of Nymphaeaceae (water lily), Salviniaceae and shallow water.

Image Data

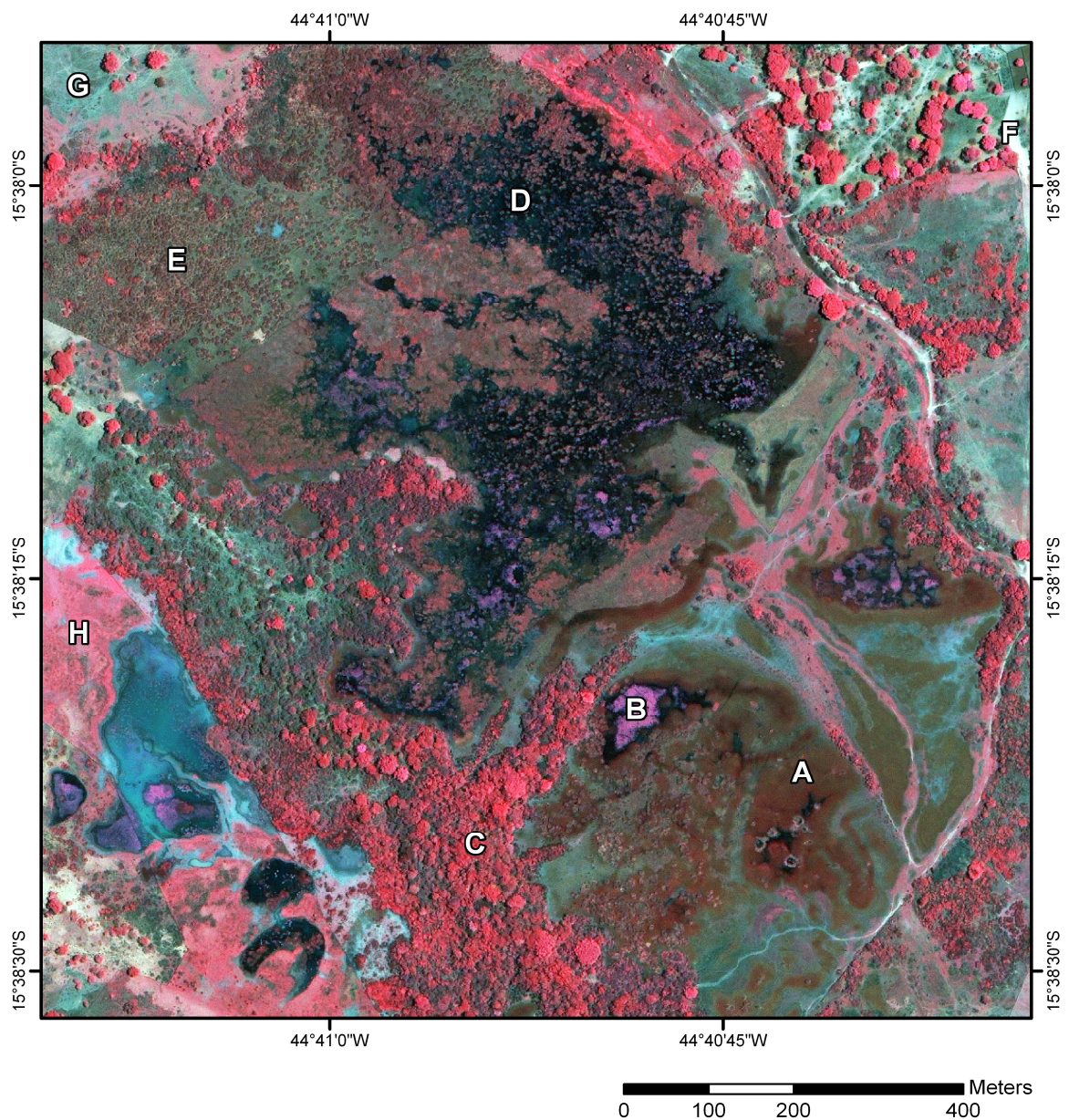
One fusionned Ikonos image³ registered to a UTM projection of the central part of the PWS was provided by the Forest Institute of Minas Gerais (Figure 3). This image was acquired in September 2006 corresponding to the end of the dry season when the water level is at its lowest. Given the flatness of the relief and geodetic ground control points, registration errors were kept below 5 meters.

Field Work

The first of three field campaigns was conducted in September 2008 using a boat and an all-terrain vehicle to access difficult areas for a general reconnaissance approach. During the second one in February 2009 geodetic ground control points were collected for the geometric correction and registration of the image. A specific work area was also defined and data was acquired on the different vegetation physiognomies that could be identified on the Ikonos image. The third campaign in May 2009 was mainly dedicated to acquire low altitude photographs using a micro-light aircraft to serve as complementary validation data. During the last two campaigns, printed copies of the Ikonos image (scale 1:5000) were used to identify complexes recognizable both in the field and on the image. Photographic records of different vegetation typology were acquired to constitute a visual inventory of the Pandeiros. The dominant plant groups present on the photographs were identified by two botanists at the Botanic Taxonomy Laboratory of the Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). The

³ Fusionning involves resampling the 4 m multispectral to 1 m using the panchromatic channel.

aerial photographs proved to be useful for the inventory and as validation data. Since only a navigation GPS was used in the last campaign, care was taken to note and draw the landscape context for all the ground control points that were mainly acquired for thematic purposes (as opposed to geodetic). These points were essential for understanding the different environments and their respective context. It is during the February campaign that the test area presented here was selected for having the largest possible number of different natural environments within the smallest area. The selected area covers 1.44 km² and is illustrated in Figure 3.



(a)

pasture”. “Natural areas” were distributed into “riparian forest” and “macrophytes”. At the fourth and last level, mycrophytes were subdivided in “nymphaeace”, “pontenderiaceae” and “cyperaceae”. The eight classes of the classification key are described in Table 1 along with a property we named “wetness scale” that was directly related to our interpretation of the image. The wetness scale was defined by interpreting the general brightness of the false color composite, darker, being more wet. We found that this was directly related to the depth of water present which was useful to determine means of access on the ground for our control sites.

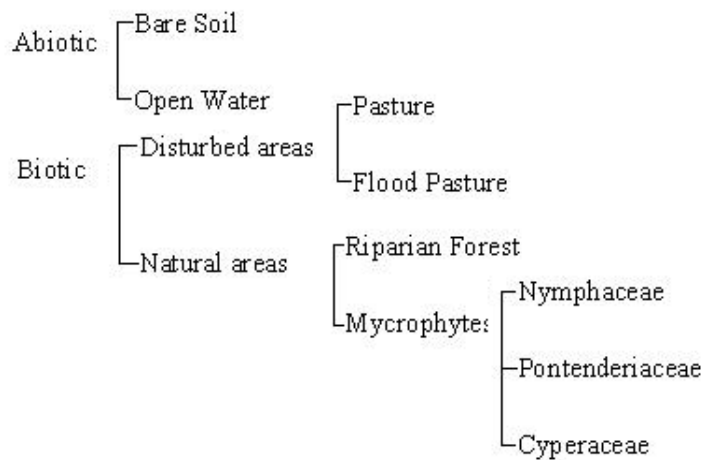


Figure 4. Classification key based on a hierarchical division of the environments

Table 1. Class names and description of the Pandeiros Wildlife Sanctuary.

Class name	Description	Wetness scale
Open Water	Areas covered mainly by water that presents along all the year.	++++++
<i>Nymphaeaceae</i>	Areas covered mainly by <i>Nymphaea spp.</i> Regions with shallow water are classified in these group.	+++++
<i>Pontederiaceae</i>	Mainly vegetal species find in the area are: <i>Eichhornia azurea</i> and <i>Echinodorus cf. paniculatus</i> .	++++
<i>Cyperaceae</i>	Mainly specie covering the area is <i>Cyperus giganteus</i> .	+++
Flooded Pasture	Grass land to create cattle flooded in the rain season.	+++
Riparian Forest	Area with trees higher than 8 meters.	++
Pasture	Grass land not flooded in the rain season.	++
Bare Soil	Soil without any cover.	+

Three distinct processes of classification were employed to identify the eight classes:

- An unsupervised pixel-based method, which allows classifying without previous knowledge. ISODATA algorithm was used for that purpose (Jensen, 2005; p. 383). The ISODATA creates its segments in the spectral domain and makes no spatial requirements in terms of minimum area for the segments.
- A supervised method, needing ground truth data and using the maximum likelihood decision rule. Here, the ECHO - Extraction and Classification of Homogeneous Objects (Biehl and Landgrebe, 2002) was used to reduce the effect of the high intra-class variance present on high resolution images like Ikonos. A window size of 3×3 was selected as the minimum cell size.
- A region-based unsupervised segmentation/classification method developed at the University of Waterloo based on Markov random field and implemented in the software MAGIC (Yu and Clausi, 2008).

The MAGIC software first performs a watershed algorithm that creates small groups of pixels, then these segments are further joined according to the Markov random field paradigm. Although this is not formulated as a rule in the algorithm, the watershed segmentation typically creates groups in the order of 20 to 50 pixels. For that reason, there are few very small patches in the final segmentation since the watershed algorithm⁴ (Vincent and Soille, 1991) has created a first generalization. This was considered desirable with the Ikonos image that contains more details than is needed with a land cover map, even considering the plant family level. Since our goal was to produce a wetland cover map at 1:10 000, we considered the minimum mapping unit to be about square millimeter or 100 m².

Areas selected as training and validation samples were chosen based on field data and image interpretation. After carrying some tests on the effect of the window size on the class variance we have opted for windows of approximately 11×11 pixels or 121 m². Each class is represented by eight such windows totalizing about 970 pixels per class. The bare soil class was the only exception and windows of 9×9 pixels were chosen for a total of 648 pixels. We opted for these smaller windows to keep the samples integrity considering the difficulty to have “pure” bare soil samples.

⁴ The watershed algorithm is a segmentation that generates segments with closed boundaries. When used by itself, the watershed tends to over segment natural images, that is, create more segments than there are visible objects.

Validation

Access in wetland areas can be very difficult and a fully systematic or random sampling scheme was impossible. Additionally, although the PWS is a protected area, most of it is still privately owned and we were not always able to have permission of access from landowners. Still, we were able to visit a total of 64 sampling sites chosen from the interpretation of image data to serve as training and validation data (see white rectangles on Figure 6a). To overcome the access limitations, we also used a micro-light aircraft flown at low altitudes (< 500 m) to acquire over 700 oblique photographs of the area using a digital camera (Nikon D40X) equipped with a zoom (Nikkor 18-200 mm 1:3.5-5.6). Data from the tracking log of a navigation GPS (Global Positioning System) set at a 50 m distance interval was coupled with the acquisition time of the photographs to account for the aircraft position at each shot (the camera and the GPS were previously synchronized). The level of detail on these photographs was such that the dominant plant families could easily be interpreted with the help of two botanists and the ground samples (Figure 5).



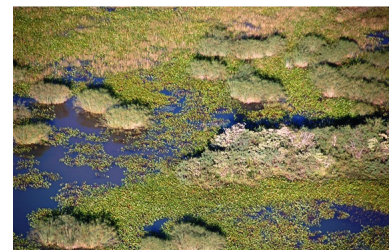
(a)



(b)



(c)



(d)

Figure 5. Field campaigns: (a) overview of the Pandeiros’ wetlands; (b) micro-light aircraft used for low altitude photographs; (c) ground sampling by boat; (d) photograph taken at an altitude of 150 m.

From these data, we adopted two distinct methods of validation. In the first instance, traditional contingency matrices (or confusion matrices) were created to cross the actual thematic class with the observed classification result. Because we had a relatively small number of ground truth samples (64), they were all used for validating the results of all three classification methods both supervised and unsupervised. In the case of the supervised classification, we realized that this approach tends to overestimate the accuracy of the classification but, in our case we were mainly interested in a comparative result.

In our second validation scheme, we selected a well surveyed area that we fully interpreted visually using the low altitude oblique photographs as support. This process resulted in creating a reference map based on our interpretation. These polygons were delineated manually and labeled according to their respective class and used to validate the results and evaluate the performance of each classifier. A difference image was created for each of the three results in which zeros represent correctly classified pixels and all other values, classification errors.

RESULTS AND DISCUSSION

A first visual result evaluation revealed that the MAGIC unsupervised segmentation/classification approach produced more homogeneous classes than either the supervised ECHO classification or the ISODATA unsupervised classifier. The ISODATA produced the worst result both visually and in terms of quantitative validation. Tables 2, 3 and 4 show the confusion matrices of all three classifications and Table 5 gives producer’s and user’s accuracy by class. Figure 6 shows the graphical counterpart of these classification results. With a classification score of almost 95% (based on the training samples), the MAGIC algorithm yielded better results than both the ECHO (88%) and the ISODATA (67%) classifiers. In particular, the ISODATA results are more affected by noise and show textured appearance with little spatial consistency in all classes. Even given the apparent superiority of the MAGIC approach, it should be mentioned that the results have a clumpy appearance and give the impression of loss of resolution. A good example is the main lagoon (dark area in center on image) where segmentation appears to have been over-generalized and many small details not belonging to the *open water* class have been lost in the process. These

small fragments were better preserved by the supervised classification but since they were mostly smaller than our minimum mapping unit (80-100 m²), this was not considered a problem.

Table 2. Confusion matrices for the three classification methods: ISODATA.

Reference Data	Producer Accuracy	Classified Data								
		<i>Pontedericeae</i>	<i>Nymphaeaceae</i>	Rip. Forest	Open Water	<i>Cyperaceae</i>	Bare Soil	Pasture	Flooded Pasture	Number Samples
<i>Ponteder.</i>	74,1	717	4	0	69	178	0	0	0	968
<i>Nymphae.</i>	23,1	1	224	0	0	48	31	664	0	968
Rip. Forest	53,3	105	0	516	10	12	4	0	321	968
Op. water	98,6	1	2	0	954	11	0	0	0	968
<i>Cyperac.</i>	56,3	84	150	161	0	545	0	0	28	968
Bare Soil	65,4	0	2	0	0	0	633	10	3	648
Pasture	67,5	1	264	0	0	20	30	653	0	968
F. Pasture	78,1	0	0	45	0	0	167	0	756	968
Total		909	646	722	1033	814	865	1327	1108	7424
User Accuracy		78,9	34,7	71,5	92,4	67,0	73,2	49,2	68,2	
Overall Kappa	67.3									
	62.6									

Table 3. Confusion matrices for the three classification methods: ECHO.

Reference Data	Producer Accuracy	Classified Data								
		<i>Pontedericeae</i>	<i>Nymphaeaceae</i>	Rip. Forest	Open Water	<i>Cyperaceae</i>	Bare Soil	Pasture	Flooded Pasture	Number Samples
<i>Ponteder.</i>	62,4	604	24	0	0	340	0	0	0	968
<i>Nymphae.</i>	95,1	0	921	0	0	1	1	45	0	968
Rip. Forest	94,5	0	0	915	0	21	0	0	32	968
Op. water	98,2	0	13	1	951	0	0	3	0	968
<i>Cyperac.</i>	98,9	5	0	1	0	957	0	0	5	968
Bare Soil	65,0	0	10		0	0	629	0	9	648
Pasture	84,8	0	89		0	1	57	821	0	968
F. Pasture	75,1	0	0	237	0	4	0	0	727	968
Total		609	1057	1154	951	1324	687	869	773	7424
User Accuracy		99,2	87,1	79,3	100,0	72,3	91,6	94,5	94,0	
Overall Kappa	87.9									
	86.1									

Table 4. Confusion matrices for the three classification methods: MAGIC.

Reference Data	Producer Accuracy	Classified Data								Number Samples
		<i>Pontederiaceae</i>	<i>Nymphaeaceae</i>	Rip. Forest	Open Water	<i>Cyperaceae</i>	Bare Soil	Pasture	Flooded Pasture	
<i>Ponteder.</i>	90,8	879	0	0	0	89	0	0	0	968
<i>Nymphae.</i>	80,9	0	783	0	0	12	52	121	0	968
Rip. Forest	100,0	0	0	968	0	0	0	0	0	968
Op. water	100,0	0	0	0	968	0	0	0	0	968
<i>Cyperac.</i>	89,0	6	0	98	2	862	0	0	0	968
Bare Soil	66,9	0	0	0	0	0	648	0	0	648
Pasture	99,7	0	0	0	0	0	3	965	0	968
F. Pasture	100,0	0	0	0	0	0	0	0	968	968
Total		885	783	1066	970	963	703	1086	968	7424
User Accuracy		99,3	100,0	90,8	99,8	89,5	92,2	88,9	100,0	
Overall	94.8									
Kappa	94.1									

Table 5. Producer Accuracy (P%) and User Accuracy (U%) to classification process ISODATA, ECHO and MAGIC (highest values are in bold).

Classes	Unsupervised ISODATA		Supervised ECHO		Unsupervised Region-Based (MAGIC)	
	P%	U%	P%	U%	P%	U%
<i>Pontederiaceae</i>	74.1	78.9	62.4	99.2	90.8	99.3
<i>Nymphaeaceae</i>	23.1	34.7	95.1	87.1	80.9	100.0
Riparian Forest	53.3	71.5	94.5	79.3	100.0	90.8
Open Water	98.6	92.4	98.2	100.0	100.0	99.8
<i>Cyperaceae</i>	56.3	67.0	98.9	72.3	89.0	89.5
Bare Soil	97.7	73.2	97.1	91.6	100.0	92.2
Pasture	67.5	49.2	84.8	94.5	99.7	88.9
Flooded Pasture	78.1	68.2	75.1	94.0	100.0	100.0
Overall (Kappa)	67.3 (62.6)		87.9 (86.1)		94.8 (94.1)	

The black polygon in Figure 6 (b) illustrates the specific area mentioned previously that has been frequently visited and is well validated (see area “B” on air photo of Figure 3(c)). The analysis of this area made it possible to pin-point specific areas of success and errors in all three results. Interestingly MAGIC is the only classifier that merged all the forest areas in a one single object regardless of trees and tree shadows being identifiable as separate objects (Figure 6(d)). Generally speaking, the results from maximum likelihood are similar to the MAGIC results but with a much noisier appearance (Figure 6(c)). The amount of bare soil is

also largely exaggerated on this classified image. The ISODATA did not render any of the forested areas as a spatially consistent class (Figure 6 (b)). A similar comment can be made for the *Pasture* and *Cyperaceae* classes. Most importantly, the *Nymphaeaceae* patch (pinkish tone on center right of image) was only captured properly by MAGIC while maintaining the open water class surrounding it.

The validation tests corroborated the visual analysis. The region-based classification using MAGIC achieved 94.84% overall accuracy (with an estimated Kappa accuracy of $\kappa = 94.09\%$), the supervised ECHO (maximum likelihood) approach reported 87.89% accuracy ($\kappa = 86.13\%$), and the unsupervised ISODATA classification was only 67.32% accurate ($\kappa = 62.58\%$). Open water was the only class well classified by all approaches. The open water area on the upper left corner is slightly over generalized in the MAGIC solution and some small patches of what appears to be macrophytes have been “swallowed” by the main class of this area. The classes that were better classified with all three classifiers are generally the ones with the smoothest texture like open water, pasture and bare soil whereas the more textured classes were best classified using MAGIC. This was somewhat expected since MAGIC was only true region-based approach.

An evaluation of the MAGIC confusion matrix demonstrates that the values for user accuracy were between 89% and 100%. The *Nymphaeaceae* class was the single class with the most commission errors. Examining aerial photographs of the area we found that MAGIC successfully classified groups of *Nymphaeaceae* but that some were wrongly associated with shallow water. Shallow water can be found in two distinct forms: concentrated as large patches in a few areas or diffuse, forming lines and small patches. When concentrated the region-based approach had no problem identifying them. The small diffuse areas and small patches or lines tend to be “absorbed” by the dominant class in the vicinities. The same observation is valid for *Bare soil*. The class *Cyperaceae*, was sometimes confused with *Pontederiaceae/Alimastaceae* due to the blend of species belonging to this families. The supervised approach presented the same pattern for the *Cyperaceae* class than MAGIC. However confusion between these two classes was higher in this case.

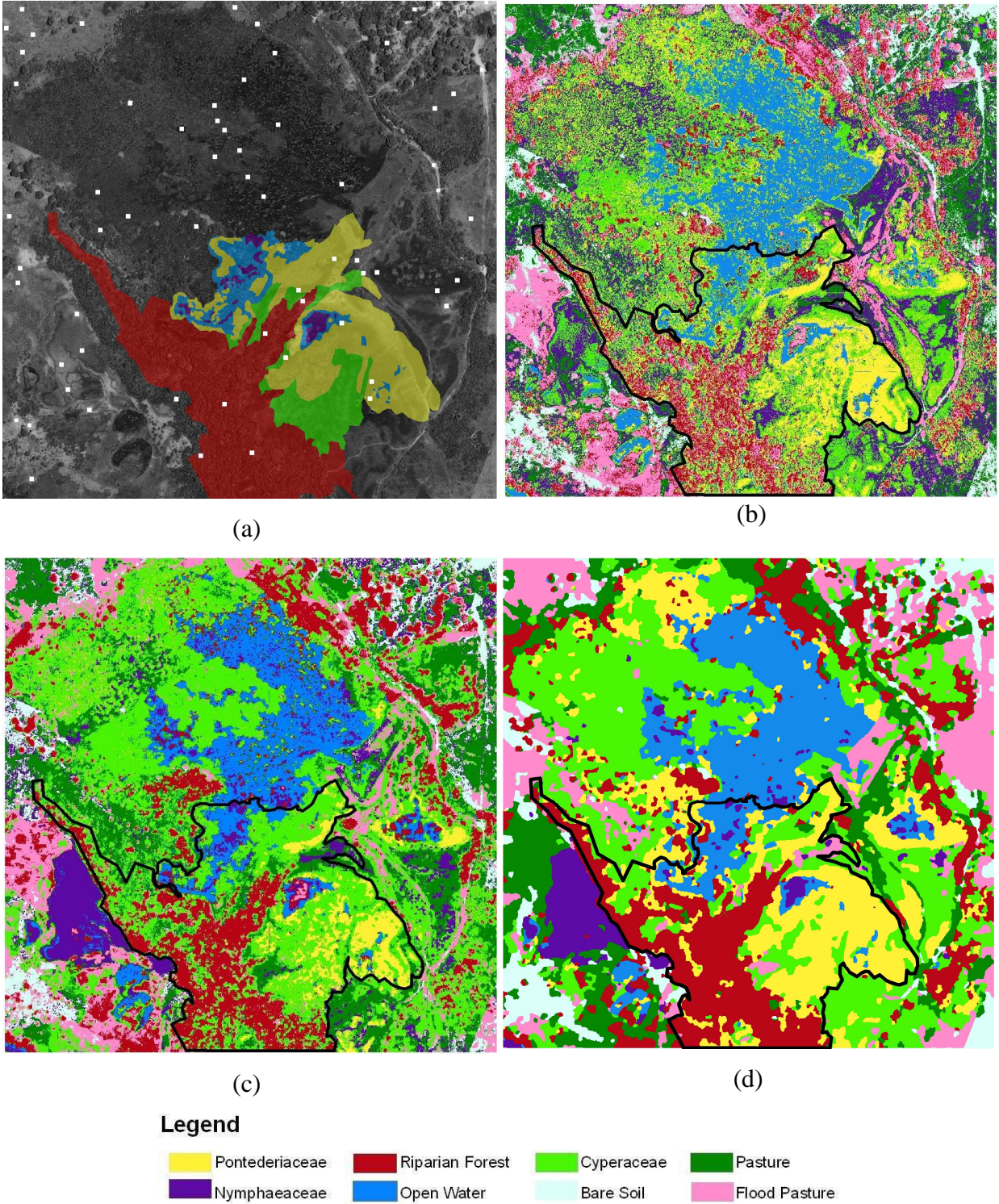


Figure 6. Classification results using the tree classifiers: a) Ikonos image of the select study area with reference map (in color) and locations of all 64 ground control sites (white rectangles), b) Classification result using ISODATA, c) Result using ECHO, d) Result using MAGIC.

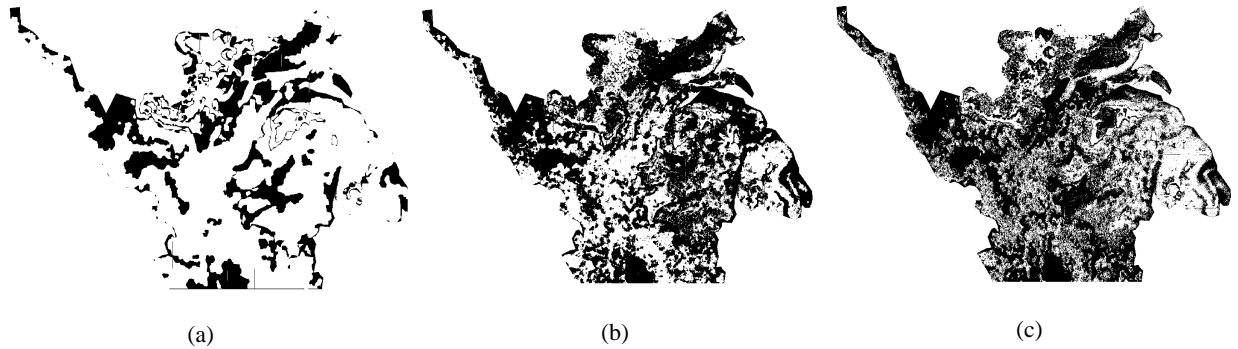


Figure 7. Image difference of MAGIC classification (a), ECHO supervised classification (b) and ISODATA unsupervised classification.: white represents correctly classified areas while misclassification appears in black.

Since little ground truth data was acquired during the campaigns we concentrated our efforts in the area where we have a better knowledge of the terrain and where we have the benefit of good oblique aerial photographs and ground truth. Based on this knowledge, we performed a visual interpretation that we then compared with our results through the generation of difference images (Figure 7). Table 6 lists for each classifier the number of correctly classified pixels and the misclassification errors which are expressed in absolute and relative numbers. It is striking that through this approach, all scores lowered but that the general pattern is maintained with MAGIC outperforming both traditional approaches. Although suffering from some subjectivity because of the indirect interpretation process used to generate the validation area, these results confirmed two main findings: 1) the region-based classifier is more appropriate for this kind of wetland environment and 2) our initial validation approach using few samples (also used as training for the supervised approach) tend to overestimate the success rate.

Table 6. Number of correctly classified and misclassified pixels expressed in absolute numbers and percentage.

	MAGIC		ECHO		ISODATA	
	absolute		absolute		absolute	
	value	%	value	%	value	%
Correctly classified	217920	70	127200	41	120708	39
Misclassified	91504	30	182224	59	188716	61

CONCLUSION

Wetland inventories are difficult to generate because they are often in inaccessible terrain. Past sensors like Landsat could only render a generalized classification of these complex multi-faceted areas. The advent of high resolution remotely sensed images like Ikonos brings a whole new perspective to wetland inventories using orbital remote sensing. This is

especially true for relatively small wetlands such as the one found within the Cerrado biome for which the high cost of these image is not a serious limitation. However, traditional classification approaches are not well adapted to the level of details present on these images and new region-based or object-based approaches have potential for processing this kind of data. Among the realm of region/object-based algorithms, MAGIC has been giving promising results. It revealed a high potential wetlands inventory mapping, especially as a preliminary approaches when little ground data is available. Because it is unsupervised, little field work is required and quick results can be generated without the spatial consistency problems ISODATA produces with high resolution data. In this study, we have achieved classification results that went beyond our expectations given the complexity of the Pandeiros environments. Airborne oblique photographs proved to be a well adapted approach for our reconnaissance and many plant species (or families) could be identified based solely on the low level photographs. Future work will concentrate on collecting biological material for identification and a more thorough description of the different wetland units.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors are thankful to Forest Institute of Minas Gerais (<http://www.meioambiente.mg.gov.br>) for providing the Ikonos image and field work support, particularly José Medina da Fonseca and Célio Murilo de Carvalho Valle. The authors are also thankful to the Botanical Taxonomy Laboratory of the Universidade Federal de Minas Gerais, especially to researchers Marco Otávio Pivari and Pedro Lage Viana. We are most grateful to Horácio Moraes who provided the micro-light aircraft. Finally we would like to thank the anonymous reviewers who helped improve this article.

REFERENCES

- Aksoy, S. 2008. Spatial techniques for image classification. In *Image Processing for Remote Sensing*. Edited by C.H. Chen, CRC press, Boca Raton, pp. 225 – 257.
- Baker, C., Lawrence, R., Montagne, C. and Patten, D. 2006. Mapping wetlands and riparian areas using Landsat ETM+ imagery and decision-tree-based models. *Wetlands*, Vol. 26, No. 2, pp. 465–474.
- Biodiversitas, (Drummond, G.M., Martins, C.S., Machado, A.B.M., Sebaio, F.A. and Antonini, Y., Editors) 2005. *Biodiversidade em Minas Gerais: um atlas para sua*

- conservação [Biodiversity in Minas Gerais: na atlas for its conservation]* (2nd Edition). Fundação Biodiversitas, Belo Horizonte, Brazil.
- Biehl, L. and Landgrebe, D., 2002. Multispec - a tool for multispectral - hyperspectral image data analysis. *Computers and Geosciences*, Vol. 28, No. 10, pp. 1153–1159.
- Clausi, D.A., Qin, K., Chowdhury, M.S., Yu, P. Maillard, P. (Accepted April 2009) MAGIC: MAP-Guided Ice Classification, *Canadian Journal of Remote Sensing*.
- Clausi, D.A., Qin, A.K., Chowdhury, M.S. and Maillard, P. 2008. MAGIC: MAP-Guided Ice Classification System for Operational Analysis. In: *5th IAPR Workshop on Pattern Recognition in Remote Sensing*, 7 December, Tampa, USA. International Association for Pattern Recognition (IAPR), pp. 1-4.
- Constanza, R., D'Arge, R., Groot, R. Farberk, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neil, R., Paruelo, J., Raskin, R.G., Suttonkk, P. and Belt, M.V.D., 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, Vol. 387, pp. 253-260
- Cook, C.D.K., Gut, B.J.; Rix, E.M.; E.M.; Schneller, J. and Seitz, M. 1974. *Water plants of the world a manual for the identification of the genera of freshwater macrophytes*. Dr. W.Junk Publishers, The Hague.
- Deng, H. and Clausi D. A., 2005. Unsupervised segmentation of synthetic aperture radar sea ice imagery using a novel Markov random field model. *IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 43, No. 3, pp. 528–538.
- Dugan, P. (Editor). 1993. *Wetlands in Danger: a World Conservation Atlas*, Reed International Books, London.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2002. Water Resources, Development and Management Service. AQUASTAT Information System on Water in Agriculture: Review of Water Resource Statistics by Country. Rome: FAO. Available from http://www.fao.org/waicent/faoinfo/agricult/agl/aglw/aquastat/water_res/index.htm [cited 12 October 2009].
- Irgang, B.E., Pedralli, G. and Waechter, J.I. 1984. Macrófitos aquáticos da Estação Ecológica do Taim, Rio Grande do sul, Brasil. *Roessleria*, Vol. 6, pp. 395-404.
- Jensen, J. R., 2005. *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Percpective* (3rd Edition), Prentice Hall Series, Upper Saddle River, New Jersey.

- Melack, J. M., 2004. Tropical freshwater wetlands. *Manual of Remote Sensing, vol. 4: Remote Sensing for Natural Management and Environmental Monitoring* (4th Edition), John Wiley and Sons, Hoboken, New Jersey, pp. 319-343.
- Mitsch, W. J. and Gosselind J. G., 2007. *Wetlands* (4th Edition). John Wiley & Sons Inc., Hoboken, New Jersey.
- National Wetlands Working Group, 1997. *The Canadian Wetland Classification System* (2nd Edition), University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada.
- Ramsar Convention Secretariat. 2006. *The Ramsar convention Manual: a guide to the Convention on Wetlands (Ramsar, Iran, 1971)*, (4th Edition), Ramsar Convention Secretariat, Gland, Switzerland.
- Vincent, L., and Soille, P. 1991. Watersheds in digital spaces: An efficient algorithm based on immersion simulations. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 13 No. 6, pp. 583-598.
- Yu, Q. and Clausi, D. A., 2008. IRGS: image segmentation using edge penalties and region growing. *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 30, No. 12, pp. 2126-2139.

Capítulo 4

Artigo – 02 Revisitando a textura, a partir da matriz de coocorrência dos níveis de cinza, para classificar comunidades de plantas aquáticas em ambientes de terras úmidas no Brasil.

Revisiting grey level cooccurrence matrix texture for improving classification of aquatic plant communities in a wetland environment in Brazil

Ivan Seixas Barbosa¹² and Philippe Maillard¹

¹Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Av. Antônio Carlos, 6627, Belo Horizonte - MG, Brazil,

Tel. +55-31-3409-5427 Fax. +55-31-3409-5410,

E-mail: ivansbarbosa@gmail.com philippe@cart.igc.ufmg.br

²Instituto Estadual de Florestas de Minas Gerais, Belo Horizonte – MG, Brazil,

Tel. +55-31- 39151325

Abstract. Wetlands are complex ecosystems hosting a high diversity of landscape associated with water, soil and vegetation variations. It provides several essential resources for wildlife and human populations and supports a miscellany of aquatic plant species. The *Pandeiros* Wildlife Sanctuary is a unique wetland ecosystem surrounded by semiarid savannas. It supports large communities of macrophytes and terrestrial plants and stores large quantities of organic matter. In this article we aimed to evaluate the use of Gray Level Coocurrence Matrix (GLCM) in the classification and segmentation of a wetland environment using high resolution image. As well as determining the optimal parameters of textures, window size and distance to be used in the study of IKONOS images for this sort of environment. We reached an improvement of 13,3 % in the classification by adding texture information in the process. The best result achieved was 87,5% of overall accuracy, using a lag distance of 3, an window size of 37. Contrast was the texture feature that most contributed to improving classification results.

Key words: Classification, High resolution, IKONOS, Texture, vegetation, wetlands

INTRODUCTION

Wetlands have been perceived in the past as dirty, dangerous and unimportant areas by most Western communities (Gooselink, 2003). Since the Ramsar Convention, a new perception of those environments spreads through the Occident. Several governments have agreed in building a framework for the conservation and wise use of these areas (Ramsar 2006). Brazil is one of the signatory parties of the convention and holds numerous wetlands in its territory.

Although Brazil recognizes the importance of Wetlands, it does not have a specific law definition which ensure the protection of these environments. Considering this, we adopted the Canada's National Wetlands Working Group (1997) concept which considers wetlands to be areas saturated by water long enough to support aquatic processes as indicated by aquatic vegetation, poorly drained soils and biological activity adapted to these particular conditions.

The Pandeiros River Flood Plain presents all these characteristics and is considered an important wetland site in Brazil. It is even more special since it is located in a region of water scarcity and is surrounded by savannah vegetation. It provides several ecosystem services such as recycling nutrients, fixing carbon and recharging the aquifer. Due to its relevance the State Government of Minas Gerais acknowledged this site as a Wildlife Sanctuary. However, the recognition as a protected area does not ensure its preservation since the site has not been expropriated. Large areas are still been used to raise cattle and several smaller ones have been drained and used by communities for family farming (Barbosa and Maillard, 2010).

Since it is a unique site in Brazil, the identification of the types of wetlands environment is necessary to subsidized its proper management and conservation. This is a challenging task since the Pandeiros hosts a complex ecosystem with a high diversity of landscapes and the inventory of wetlands demand field surveys, aerial photo interpretation and satellite imagery. Melack (2004) points out that the use of satellite images is considered the most efficient, since it allows a fast data acquisition and cartographic mapping.

A large range of tools are available to classify satellite data. However, high resolution images often require more sophisticated approaches such as object-oriented classification and texture analysis. In a previous work, Barbosa and Maillard (2010) compared traditional pixel-based classifiers, supervised and unsupervised, with a new-region based classifier - Magic (Yu and Clausi, 2008). This work confirmed that the use of context information based on Markov Random Fields is able to improve the classification overall accuracy of high resolution images when compared with pixel-based techniques. Another approach which

deserve special consideration is the use of texture feature which were not considered in this previous work. For example, Davis *et al.* (2002) obtained an overall accuracy classification of 75% using image texture for riparian zones. Thus, as a starting point, we decide evaluate texture potential of classify different groups of aquatic plants based on Ikonos images.

1.3 Gray Level Co-occurrence Matrix

Several methods can be applied to perform texture analysis. Among these, the Gray Level Co-occurrence Matrix (GLCM) is probably the most commonly used (Franklin, 2001) and has been recognized as a means to improve classification results in many specific situations (Clausi, 2000; Maillard, 2003). GLCM is based on a second order histogram in which each entry represents the joint probability of finding a set of two grey levels at a certain distance and direction from each other over some pre-defined window (Maillard, 2001). Haralick *et al.* (1973) was the first to extract texture features from the GLCM in order to classify images for which he originally described 14 textures measures. However many features are highly correlated between themselves and many authors have been using but a subset of these. Amongst the most popular ones we have chosen five: Contrast, Angular Second Moment, Entropy, Inverse Difference Moment and Correlation.

Since GLCM is pointed as one of the best choices of method for texture classification (Maillard, 2001), this paper aimed to evaluate its potential to classify wetlands environment using Ikonos images. As well as, outlining patterns of texture features which could enlighten the choice of optimal texture parameters during the classification process.

In this study, we aimed to evaluate the use of GLCM in the classification and segmentation of a wetland environment using high resolution image. As well as determining the optimal parameters of textures, window size and distance to be used in the study of IKONOS images for this sort of environment.

2. Methodology

2.1 Study Area and Field Work

The Pandeiros Wildlife Sanctuary (PWS) is located near the Pandeiros' River mouth, in the Northern part of the State of Minas Gerais (Figure 1). This river is an important affluent of São Francisco River and is the breeding grounds of several species of fish. It is also a refuge for numerous rare endemic and threatened bird species (Biodiversitas, 2005).

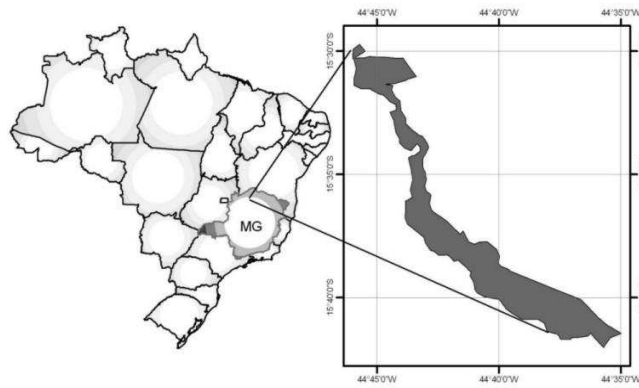


Figure 1. Location of Pandeiros Wildlife Sanctuary in Minas Gerais (MG) – Brazil.

The region is protected by the State government authorities and is managed by the Forest Institute of Minas Gerais (IEF-MG). It occupies a total area of 6103 ha. and preserves a unique wetland with riparian forests, palm swamps, wet meadows, lakes and ponds (Figure 2). Climate presents two distinct periods: wet season from October to March, and dry from April to September. This variation is characteristic of the Cerrado biome where water deficit spans for about half the year.

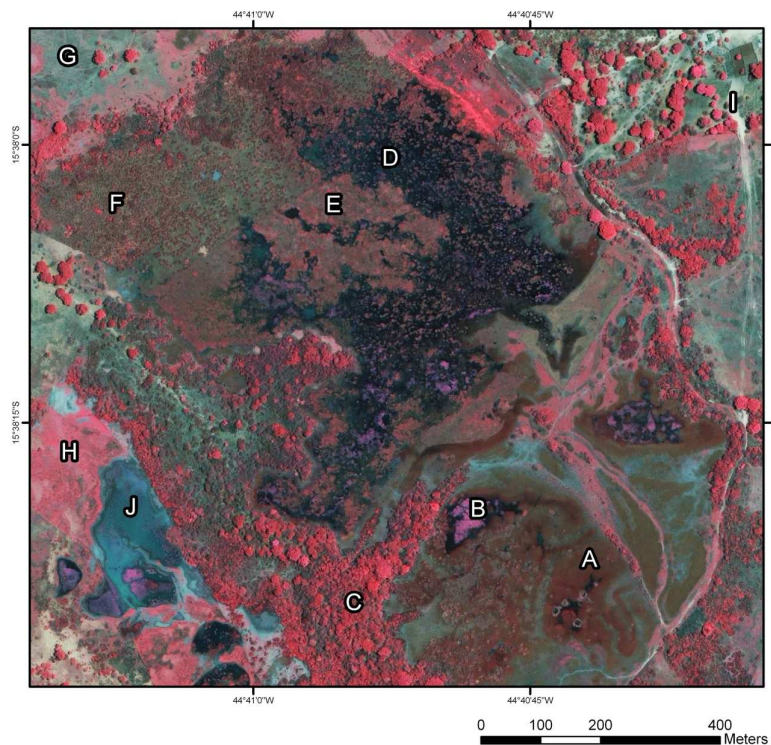


Figure 2. (a) Fusionned, false color Ikonos image of the Pandeiros. The image represents an area of 1200×1200 pixels or 144 ha. Legend: A – *Pontederiaceae*; B – *Nymphaeaceae*; C – *Riparian forest*; D – *Open Water*; E – *Alismataceae* F – *Cyperaceae*; G – *Pasture*; H – *Flooded Pasture*; I – *Bare Soil*, J - *Shallow water*.

The first of four field campaigns was conducted in September 2008 using a boat and an all-terrain vehicle to access difficult areas for a general reconnaissance approach. During the second one in February 2009 geodetic ground control points were collected for the geometric correction and registration of the image. A specific work area was also defined and data were acquired on the different vegetation physiognomies that could be identified on the Ikonos image. The third campaign in May 2009 was mainly dedicated to acquire low altitude photographs using a micro-light aircraft to serve as complementary validation data. The fourth and last one, in April 2010 allowed acquiring new low altitude photographs and visit a few spots requiring additional botanical inventory. During the last three campaigns, printed copies of the Ikonos image (scale 1:5000) were used to identify complexes both in the field and on the image. The data allowed us to divide vegetation of the study area in 10 different classes (Figure 2): *Pontederiaceae*, *Nymphaeaceae*, *Riparian forest*, *Open Water*, *Alismataceae*, *Cyperaceae*, *Pasture*, *Flooded Pasture*, *Bare Soil* and *Shallow water*

Photographic records of different vegetation typology were acquired to constitute a visual inventory of the Pandeiros. The dominant plant groups present on the photographs were identified by two botanists at the Botanic Taxonomy Laboratory of the Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). The aerial photographs proved very useful for the inventory and as validation data. Since only a navigation GPS was used in the last two campaign, care was taken to note and draw the landscape context for all the ground control points that were mainly acquired for thematic purposes (as opposed to geodetic). These points were essential for understanding the different environments and their respective context. It is during the February campaign that the test area presented here was selected for having the largest possible number of different natural environments within the smallest area. The selected area covers 1.44 km² and is illustrated in Figure 2.

2.2 Image Processing

One fusionned Ikonos image⁵ registered to a UTM projection of the central part of the PWS was provided by the Forest Institute of Minas Gerais (Figure 2). The image was acquired in September 2006 corresponding to the end of the dry season when the water level

⁵ Fusionning involves resampling the 4 m multispectral to 1 m using the panchromatic channel.

is at its lowest. Given the flatness of the relief and precise geodetic ground control points, registration errors were kept below 5 meters.

The Ikonos's red band was selected to create the texture features due to low atmospheric effect and good characteristics for vegetation recognition. **(Item A in Fig 3)** This band was used as input to the in-house GLCM texture processing program MACOOC (Philippe Maillard ©2010) which produces all five texture measures in four directions: 0°, 45°, 90° and 315° in a single pass. Although data was produced in four directions, these were always grouped for analysis. Initially, we selected a few parameters (pixel pair lag distance, window size and texture features) to conduct the first tests in order to find the best value for the lag (Figure 3) distance.

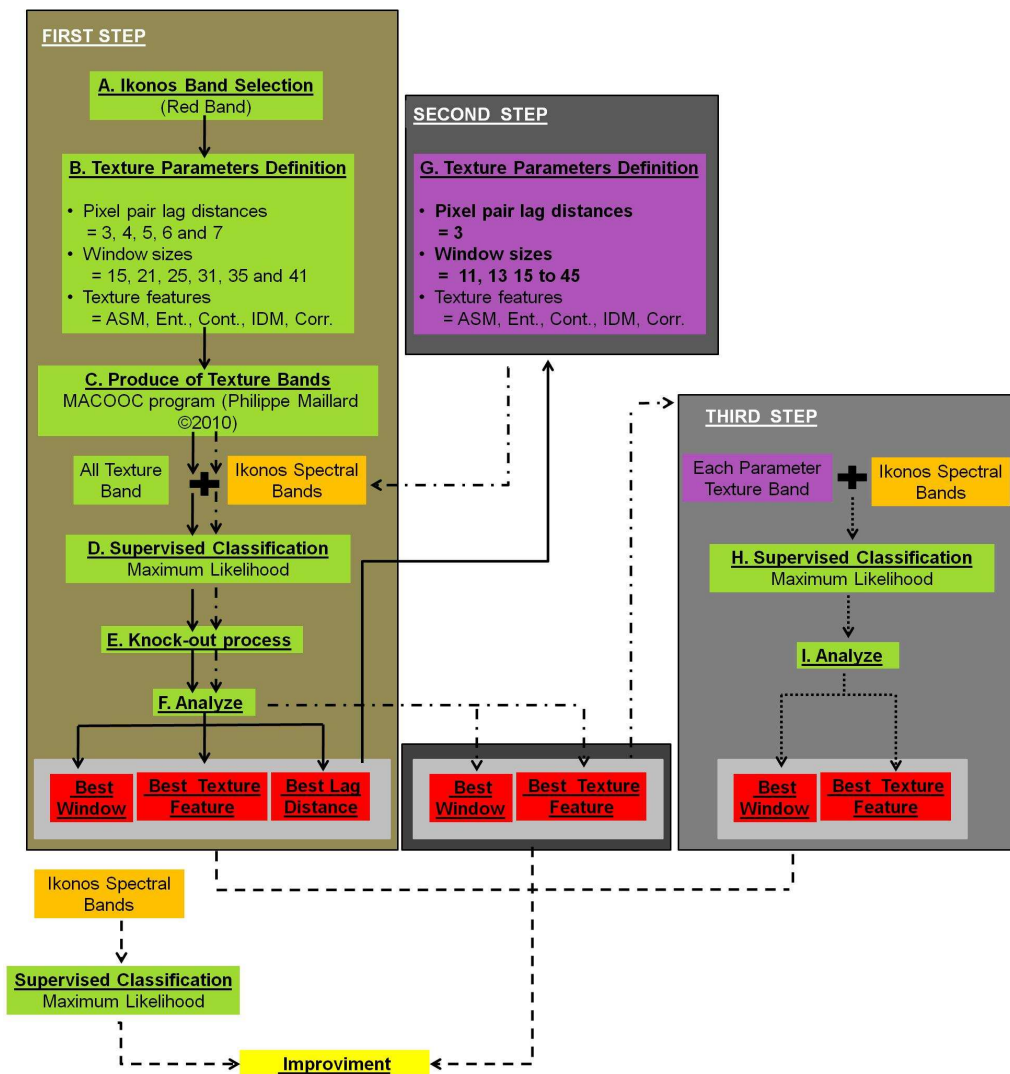


Figure 3. Gray Level Co-occurrence Matrix (GLCM) Tests .

The following values were tested for lag distance: 3, 4, 5, 6 and 7. We did not use values 1 and 2 because of the high correlation between neighbouring pixels (especially considering the image resolution results from a fusion). A value of 7 was fixed as the maximum given that aquatic plants present homogeneous groups with little or no projection of shadows and the average object size is rarely larger than 7 meters.

Window sizes of 15, 21, 25, 31, 35 and 45 were also tested. A maximum window size of 45 was selected once most of the features present in the study do not exhibit homogeneous areas larger than 1.600 m². As previously stated, we opted for five parameters: Angular Second Moment (ASM), Entropy (Ent.), Contrast (Cont.), Inverse Difference Moment (IDM), and Correlation (Corr.) (Item B in Fig 3).

After having selected the parameters, a total of 20 texture features (number of parameter x directions) were generated for each combination of lag distance and window size using the software MACOC (Item C in Fig 3).

Supervised classification method, which demands ground truth data, were performed using the maximum likelihood decision rule (Biehl and Landgrebe, 2002). Areas selected as training and validation samples were chosen based on field data and image interpretation. A few tests were performed to evaluate the effect of window size on the variance of the class. We chose use windows of about 11 × 11 pixels or 121 m² in the classification process. The class of bare ground was the only exception and windows of 9 × 9 pixels were chosen to maintain the integrity of the samples considering the difficulty of having "pure" samples of bare soil (Item D in Fig 3).

Aiming to detect the best combination of lag distance, window size and texture features, we adopted a knock-out⁶ process to conduct the selection of input data into the Supervised classification method. Each image compound by texture and spectral bands of a specific combination of window size and lag distance were submitted to a five steps knock-out process which demand 19 classifications. Considering all the possible combinations we performed 570 classifications (5 different lag distance x 6 window size x 19 classifications) that allowed to select a total of 150 results, the best overall accuracy of each step (Item E in Fig 3) (Table 1). These results were grouped according to lag distance and window size. Means were estimated grouping the ten best results achieved, the twenty best results and considering all

⁶ The knock-out process consists in testing the effect of the exclusion of a particular texture feature in the result of classification. The higher the result obtained in the classification process, the lower the relevance of the texture feature. Thus, this feature is eliminated and another round of test is carried out with the remaining features.

the results obtained during the classification process. Texture features were analyzed according to total frequency of appearance (Item F in Fig 3).

Table 1. Knock – out example. Legend: wind+dist (window + lag distance), Tex+Spec (Texture + Spectral bands), Constrast (Cont.), Angular Second Moment (ASM), Inverse Difference Moment (IDM), Entropy (Ent.), and Correlation (Corr.).

Wind.+dist. 15+03					
Text+S		79,9			
Cont	ASM	IDM	Ent.	Corr.	Spectral
82,4	78,9	81,2	79,6	78	59,1
	79,3	83,4	81,4	81,5	60,4
	79,8		81,5	83,4	61,8
	82		83,2		39,3

After applying the Supervised method to the dataset of image texture and spectral bands, a five steps Knock-out process (Table 1) was performed in order to reduce the features types and frequencies that play the most important role in the classification process. The best overall accuracy results of each step were ranked and analyzed.

In the second step, tests combining the five variables of texture with 18 different window sizes (11, 13, 15 to 45) were conducted using only the value 3 for distance. We submitted the results achieved to a Knock- out process, as previously mentioned, and 342 (1 lag distance x 18 window size x 19 classifications) classifications were performed with a total of 90 results that were analyzed (Item G in Fig 3).

The third step had consisted in applying the classification to each parameter of texture separately combined with the spectral bands (Item H in Fig 3). The results were analyzed as a total and grouped by range of window sizes allowing finding the best combination of window size and texturing feature (Item I in Fig 3).

Finally we analyzed the correlation Matrix and dispersion graphs of the results achieved by the classification process using each parameter of texture combined and not with the spectral bands.

2.3 Validation

Access in wetland areas can be very difficult and a fully systematic or random sampling scheme was impossible. Additionally, although the PWS is a protected area, most of it is still privately owned and we were not always able to have permission of access from landowners. Still, we were able to visit a total of 72 sampling sites chosen from the interpretation of image data to serve as training and validation data. To overcome the access limitations, we also used a micro-light aircraft flown at low altitudes (< 500 m) to acquire over 700 oblique photographs of the area using a digital camera (Nikon D40X) equipped with a zoom (Nikkor 18-200 mm 1:3.5-5.6). Data from the tracking log of a navigation GPS (Global Positioning System) set at a 50 m distance interval was coupled with the acquisition time of the photographs to account for the aircraft position at each shot (the camera and the GPS were previously synchronized). The level of detail on these photographs was such that the dominant plant families could easily be interpreted with the help of two botanists and the ground samples.

3. Results and discussion

The results are presented in three blocks: 1) Distance definition, 2) window definition and 3) behaviour of textures features.

3.1 Distance definition

A supervised classification based solely on spectral bands of the Ikonos image has reached an overall accuracy of 75,2%. This value was used to verify the efficiency of adding texture features in the classification process.

After performing the knock-out process, the best results of each step were ranked and analyzed. This allowed to confirm that smallest lag distances had the best performance (Table 2). A Lag distance of 3 promote the highest results of overall accuracy. However, this first approach was not able to pin-point which is the best window size. (Table 3).

Table 2. Mean and Standard deviation to 10 best results of knock-out, 20 and total according to parameter lag distance (lag distance between 3 and 7 and window sizes 15, 21, 25, 31, 35 and 41).

Lag Distance	3	4	5	6	7
Mean (10)	83,90(±1,40)	82,65(±0,61)	82,05(±1,38)	82,05(±1,06)	80,80(±0,67)
Mean (20)	83,15(±1,49)	81,95(±0,89)	80,75(±1,74)	81,55(±1,15)	80,10(±0,93)
Overall Mean	82,30(±2,74)	81,40(±2,19)	79,60(±3,72)	80,95(±4,32)	79,60(±1,97)

Table 3. Mean and Standard deviation to 10 best results of knock-out, 20 and total considering only the parameter window size (lag distance between 3 and 7 and window sizes 15, 21, 25, 31, 35 and 41).

Window size	15	21	25	31	35	41
Mean (10)	82,90(±0,81)	83,25(±1,29)	82,45(±0,75)	81,85(±1,13)	82,20(±1,27)	82,65(±2,31)
Mean (20)	81,75(±1,20)	81,45(±1,76)	81,60(±1,57)	80,50(±2,18)	80,90(±1,78)	79,45(±4,48)
Overall Mean	81,40(±1,66)	81,10(±3,03)	80,60(±2,60)	80,10(±2,53)	80,90(±2,76)	77,70(±6,19)

During the first step, the knock-out processes provided results with different combination of texture feature. The number of times that each texture feature is selected for the next step was analyzed and the following percentages were found: ASM (68%), IDM (65%), Ent (50%), Corr (47%) and Cont (18%). The best result reached was 87,3% with a lag distance of 3, a window size of 41 and using the texture features IDM and Ent (table 4).

Table 4. Five best classification results of Knock – out using all 5 texture features combined with spectral bands, lag distances between 3 and 7 and the following window sizes: 15, 21, 25, 31, 35 and 41.

Bands	Distance	Window	Overall Accuracy
IDM+Ent+S	3	41	87,3
Ent+S	3	41	86
ASM+IDM+Etn+S	3	35	85,3
ASM+IDM+Etn+S	3	21	85,1
Ent+S	6	31	84,8

3.2 Window definition

With a fixed lag distance of tree and window size varying between 11 and 45, the results achieved prove that large window sizes have better results (table 5). The best results were achieved with windows sizes of 41 and 45. The second step present a different order of texture feature importance: ASM (72,63%), Ent. (72,63%), IDM (69,47%), Cont (44,21%) and Corr (42,11%).

The best result was achieved with two combinations. One using the parameters: lag distance of 3, window size of 41 and use of IDM, Ent. and spectral bands, and the other using: lag distance of 3, window size of 45, Ent. and spectral bands (table 6).

Table 5. Mean and Standard deviation to 3 best results of knock-out and total considering only the parameter window size (lag distance between 3 and window sizes 11 to 45).

Window	11	13	15	17	19	21
Mean (3)	82,70 ($\pm 0,66$)	82,20($\pm 0,44$)	83,40($\pm 0,12$)	83,30($\pm 0,60$)	83,20($\pm 0,87$)	83,8($\pm 0,97$)
Mean	81,90($\pm 1,27$)	82,10($\pm 1,09$)	83,20($\pm 1,49$)	82,80($\pm 2,03$)	83,00($\pm 1,92$)	83,2($\pm 2,55$)
Window	23	25	27	29	31	33
Mean (3)	82,90($\pm 0,98$)	82,90($\pm 0,64$)	82,80($\pm 0,46$)	83,60($\pm 0,12$)	81,80($\pm 0,23$)	84,30($\pm 0,70$)
Mean	82,40($\pm 2,25$)	82,90($\pm 1,80$)	82,80($\pm 1,97$)	83,60($\pm 2,70$)	81,80($\pm 3,02$)	83,50($\pm 3,38$)
Window	35	37	39	41	43	45
Mean (3)	83,10($\pm 1,68$)	84,50($\pm 0,60$)	85,60($\pm 1,08$)	86,00($\pm 2,48$)	86,80($\pm 0,96$)	86,80($\pm 2,35$)
Mean	82,00($\pm 1,68$)	83,80($\pm 3,17$)	83,90($\pm 4,85$)	82,50($\pm 4,88$)	85,30($\pm 5,70$)	83,00($\pm 5,48$)

Table 6. Ten best classification results of Knock – out using all 5 texture features combined with spectral bands, lag distances of 3 and odd values of window sizes between 11 and 45.

Bands	Distance	Window	Overall Accuracy
IDM+Ent+S	3	41	87,3
Ent+S	3	45	87,3
IDM+Ent+S	3	43	87,1
Ent+S	3	43	86,8
IDM+Ent+S	3	45	86,8

Achieving the best results with only a few parameters was unexpected and led us to evaluate separately the performance of each texture feature. First, we grouped the results to find the best feature to be used in a specific range of window size. ASM proved to be the best feature when using windows between 11 and 21, Entropy was the best with windows between 23 and 33 and Contrast with windows between 35 and 45. The best general result with windows size varying from 11 to 45, was using Entropy. (Table 7). Second we look for the best combination. Although, we didn't register good results using Contrast during the knock-out process, this was the feature with the best results followed by Entropy. (Table 8)

Table 7. Mean of the overall accuracy classification for each texture parameter grouped according to window size.

Window size	Contrast	ASM	IDM	Entropy	Correlation
11 to 21	80,75($\pm 0,78$)	83,20($\pm 0,69$)	81,25($\pm 1,50$)	81,95($\pm 0,49$)	73,40($\pm 0,76$)
23 to 33	83,20($\pm 0,75$)	82,50($\pm 1,41$)	82,95($\pm 1,14$)	84,10($\pm 0,88$)	75,45($\pm 1,92$)
35 to 45	87,25($\pm 0,50$)	79,10($\pm 0,67$)	81,60($\pm 0,52$)	85,95($\pm 1,37$)	69,40($\pm 2,99$)
11 to 45	83,20($\pm 2,76$)	81,95($\pm 1,78$)	81,70($\pm 1,32$)	83,80($\pm 1,76$)	73,35($\pm 3,12$)

Table 8. Five best results of image classifications using the parameters Contrast and Entropy separately combined with spectral bands, lag distances of 3 and odd values of window sizes between 11 and 45.

Window	Contrast	Window	Entropy
37	87,5	45	87,3
43	87,4	43	86,8
41	87,3	41	86
39	87,2	39	85,9
45	86,5	27	85,2

3.3 Texture features Behaviour

A few considerations can be extracted from the interpretation of correlation matrix and dispersion graphs. Entropy is negatively correlated with window size when tested

separately. However, when combined with the spectral bands tends to increase as the window size raises. The Contrast is correlated positively with window size in both, when tested separately and when combined with spectral bands. In turn, the ASM presents negative correlation in both situations (Tables 9 and 10).

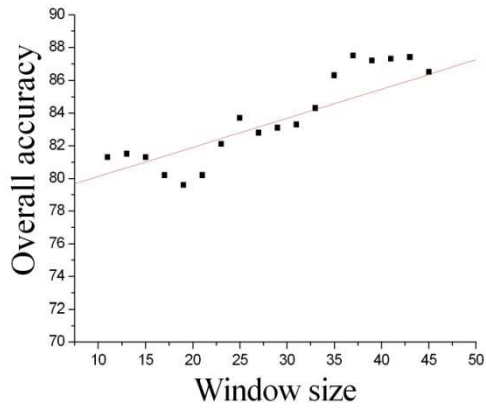
This confirms that the second angular momentum plays an important role when the window size are relatively small (between 11 and 30). Unlike the contrast that reaches the best results with windows between 30 and 45. Entropy presents a peculiar behaviour because it presents very significant results in all sizes of windows, but these tend to improve as the window size increases. In the Entropy+Spectral graph (Figure 4), we can observe two peaks: one for windows of size 27 and other for windows of size higher than the 39 (figure 4).

Table 9. Correlation Matrix of all classification results using each texture feature separately combined with spectral band, a fixed lag distances of 3 and odd values of window sizes between 11 and 45.

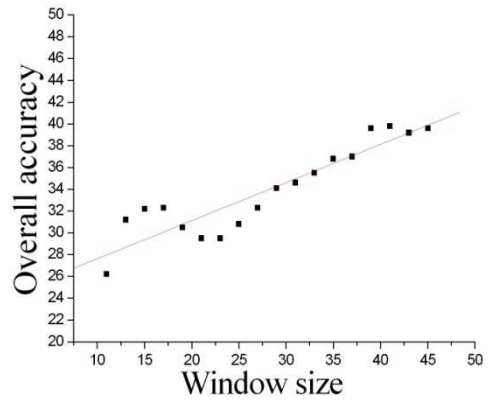
	Window	Cont+S	ASM+S	IDM+S	Ent+S	Corr+S
Window	1,00					
Cont+S	0,91	1,00				
ASM+S	-0,84	-0,85	1,00			
IDM+S	0,37	0,13	0,11	1,00		
Ent+S	0,85	0,82	-0,66	0,27	1,00	
Corr+S	-0,58	-0,58	0,71	0,33	-0,47	1,00

Table 10. Correlation Matrix of all classification results using each texture feature separately, a fixed lag distances of 3 and odd values of window sizes between 11 and 45.

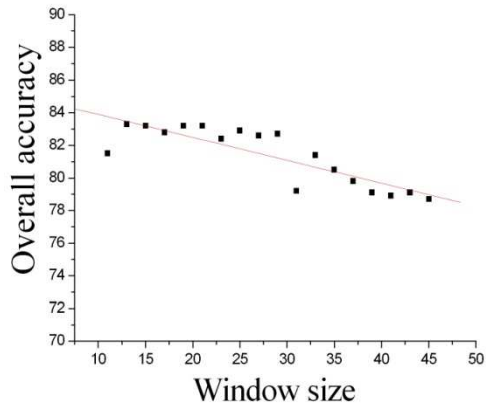
	Window	Cont	ASM	IDM	Ent	Corr
Window	1,00					
Cont	0,48	1,00				
ASM	-0,71	-0,78	1,00			
IDM	-0,62	-0,71	0,78	1,00		
Ent	-0,54	-0,36	0,35	0,64	1,00	
Corr	-0,94	-0,94	0,46	0,51	0,28	1,00



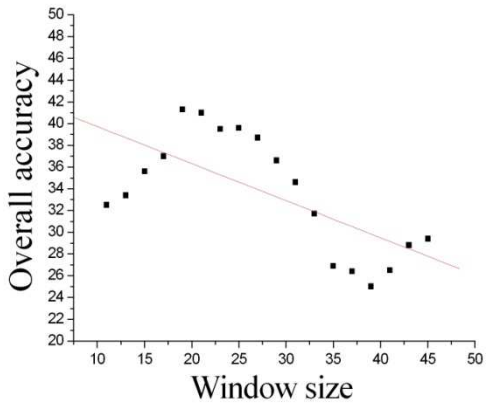
(a) Cont.+Spectral



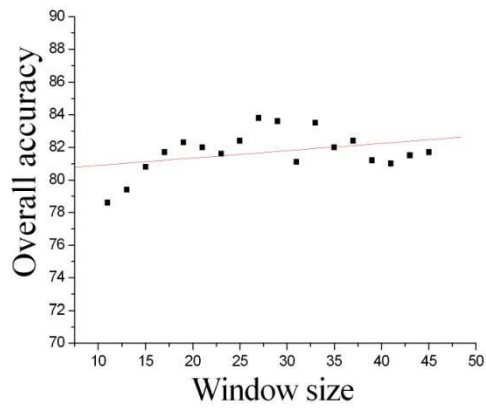
(b) Cont.



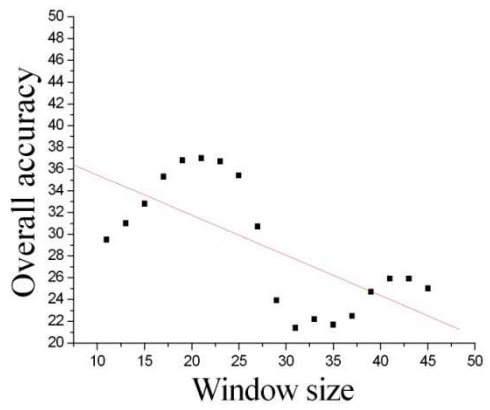
(c) ASM+Spectral



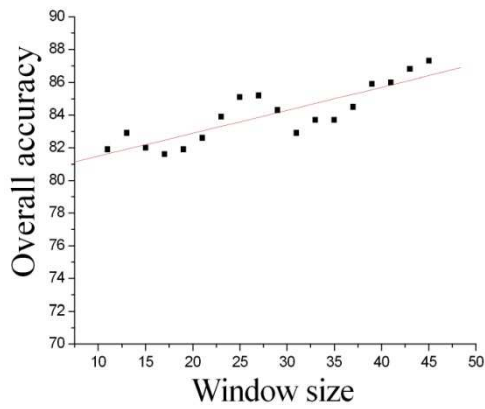
(d) ASM



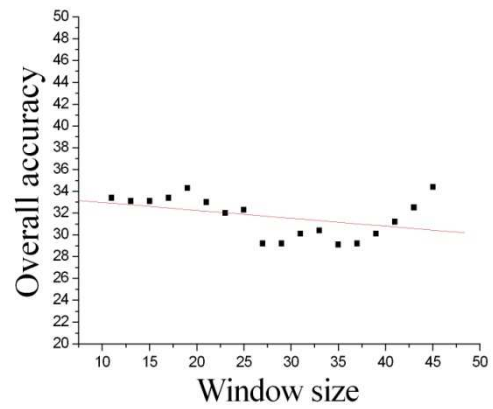
(e) IDM+Spectral



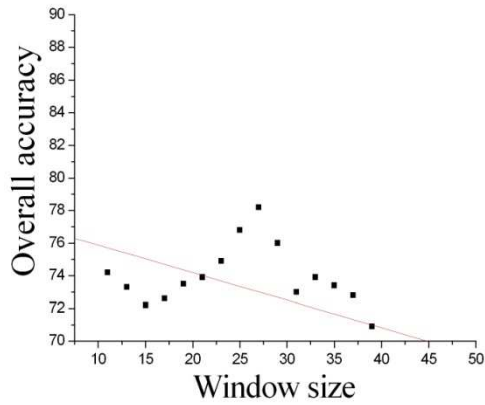
(f) IDM



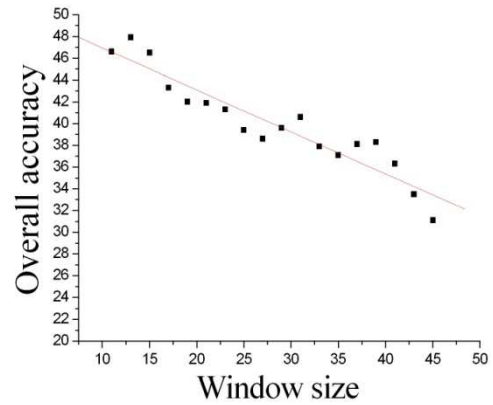
(G) Ent.+Spectral



(H) Ent



(I) Corr.+Spectral



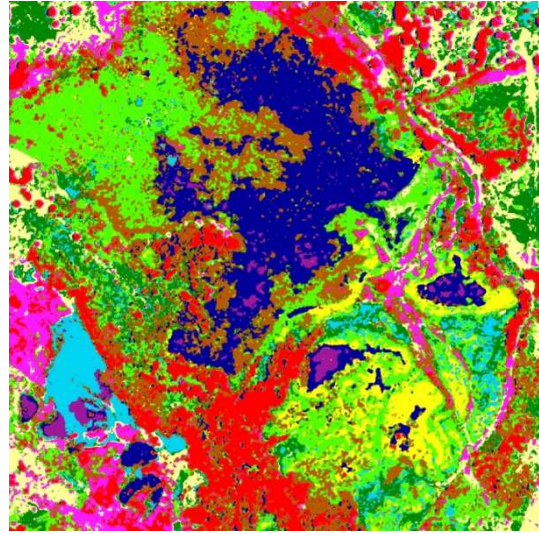
(J) Corr.

Figure 4. Dispersion Graphs of classification results of texture features according to window size for each feature processed combined and not combined with spectral bands.

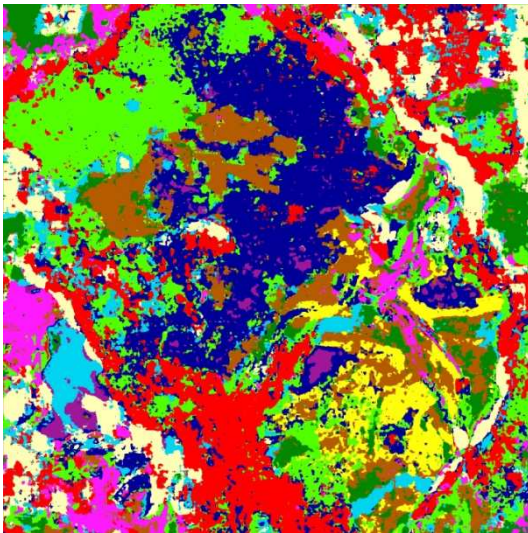
The classification results for *spectral bands*, *spectral band + contrast* and *spectral bands + entropy* are presented in figure 5. A visual comparison of these results demonstrates that the addition of contrast and entropy were able to improve the classification. The results that included those features of texture showed less salt and pepper effect than the result based only on spectral bands. The Results for class *Alismatacea* were more homogeneous when texture features were included. The forest class presented a similar result. Finally, areas of bare soil were also more evident with the use of texture.



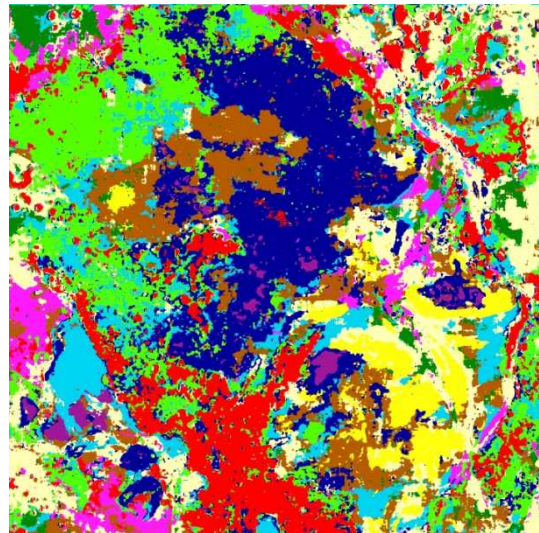
(a) Fusioned, true color Ikonos image.



(b) Spectral



(c) Spectral + contrast



(d) Spectral + entropy.



Figure 5. Supervised classification results: (a) true color ikonos image, (b) classification using only spectral bands, (c) classification using spectral bands and contrast band, (d) classification using spectral bands and entropy.

Conclusion

In this study, we used the red band of the IKONOS image to extract information about the texture of the soil cover. The red band proved to be suitable for computing texture information in a wetland environment. Tests demonstrated that small lag distances were more efficient for image classification than large lag distances. This is probably due to the average size of most wetland vegetation which was inferior to 3 meter in general. The best results achieved for window sizes were between 37 and 45. These values are related with the size of homogeneous groups formed by the study objects.

Finally, Entropy improved the classification results in all window sizes while contrast provided suitable results when combined with larger windows and Angular Second Moment with smaller windows. The best result of the classification process achieved an overall accuracy of 87,5%, using three as the distance between pixels, a window size of 37 and contrast. Texture brought a definite improvement to classification result and it is unlikely that these results could be further improved with this kind of multispectral pan-enhanced image.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors are thankful to Forest Institute of Minas Gerais (<http://www.meioambiente.mg.gov.br>) for providing the Ikonos image and field work support, particularly José Medina da Fonseca and Célio Murilo de Carvalho Valle. The authors are also thankful to the Botanical Taxonomy Laboratory of the Universidade Federal de Minas Gerais, especially to researchers Marco Otávio Pivari and Pedro Lage Viana.

REFERENCES

- Biodiversitas, 2005. Biodiversidade em Minas Gerais: um atlas para sua conservação [Biodiversity in Minas Gerais: an atlas for its conservation] (Second Edition). *Fundação Biodiversitas*, Belo Horizonte, Brazil, 242p.
- Barbosa, I., P. Maillard. 2010. Mapping wetlands variation using high resolution image in the pandeiros wildlife Sanctuary, Brazil. *Canadian Journal of Remote Sensing*. Special Issue. Volume 36, supplement 02.
- Clausi, D. A. (2000). Comparison and fusion of co-occurrence,

- Gabor and MRF texture features for classification of SAR sea-ice imagery. *Atmosphere-Ocean* 39(3), 183–194.
- Davis, P.A., M.I. Staid, J.B. Plescia and J.R. Johnson, 2002. Evaluation of airborne image data for mapping riparian vegetation within the grand canyon, Report 02-470, U.S. *Geological Survey*, Flagstaff, Arizona, 65p.
- Dechka J.A., Franklin S., Watmough M., Bennett R., and W.Ingstrup D., 2002. Classification of wetland habitat and vegetation communities using multi-temporal ikonos imagery in southern saskatchewan. *Canadian Journal of Remote Sensing* 28(5) pp. 679-685.
- Franklin, S. E., 2001. *Remote Sensing for Sustainable Forest Management*. Boca Raton, FLA: Lewis Publishers.
- Haralick, R, 1979. Statistical and structural approaches to texture. *The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.*, 67 (5), pp 786-804.
- Maillard, P. (2003). Comparing texture analysis methods through classification. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 69(4), 357–367.
- Maillard P., 2001. Texture in High Resolution Digital Images of The Earth. Department of Geographical Sciences and planning, University of Queensland, Australia. PP. 328.
- Melack, J. M., 2004. *Tropical freshwater wetlands. Manual of Remote Sensing for Natural Management and Environmental Monitoring* (4th Edition), John Wiley and Sons, Hoboken, New Jersey, pp. 319-343.
- Mitsch, W. J. and Gosselind J. G., 2007. *Wetlands* (4th Edition). John Wiley and Sons Inc., Hoboken, New Jersey. pp 582
- National Wetlands Working Group, 1997. *The Canadian Wetland Classification System* (2nd Edition), University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada pp. 68.
- Ramsar Convention Secretariat, 2006. *The Ramsar convention Manual: a guide to the Convention on Wetlands (Ramsar, Iran, 1971)*, (4th Edition), Ramsar Convention Secretariat, Gland, Switzerland

Capítulo 5

CONCLUSÃO

Neste trabalho, objetivou-se avaliar a aplicação de técnicas de classificação na caracterização de ambientes de terras úmidas no Refúgio de Vida Silvestre do Rio Pandeiros a partir da imagem Ikonos. Optou-se por comparar técnicas de classificação tradicionais, baseadas no valor do pixel, com técnicas mais sofisticadas, que consideram o contexto espacial.

Observou-se que técnicas que consideram o contexto espacial, MAGIC e textura, tiveram resultados mais expressivos no processo de classificação quando comparadas a técnicas tradicionais, pois apresentaram um maior sucesso no processo de segmentação e classificação da vegetação de terras úmidas.

O software MAGIC apresentou resultados promissores e revelou um elevado potencial para o mapeamento de terras úmidas, especialmente quando a disponibilidade de informações sobre o local é deficiente. O método de classificação não supervisionada, baseada nos Campos Aleatórios de Markov, incorporado nesse programa, apresentou resultados com consistência espacial muito superior à técnica de classificação não supervisionada baseada no pixel (ISODATA).

Os testes realizados com as características de textura geradas a partir da matriz de coocorrência (GLCM) mostraram que a inserção de informações de textura melhoram os resultados do processo de classificação quando comparado com os resultados da classificação supervisionada apenas das bandas da imagem Ikonos.

Esses resultados demonstram que imagens de alta resolução permitem uma análise mais detalhada das tipologias vegetais, entretanto demandam técnicas mais sofisticadas para a extração da informação.

Além dos avanços técnicos alcançados nesse trabalho, cabe destacar a fragilidade desses ambientes no Brasil devido à ausência de leis específicas que os protejam, situação que fica nítida ao compararmos com outros países, onde a preocupação com esses ambientes levou à elaboração de conceitos específicos para os ambientes de terras úmidas.

Finalmente, recomenda-se, para trabalhos futuros, a avaliação de áreas mais extensas do RVS do Rio Pandeiros em períodos distintos de seca e chuva. Testes envolvendo essas variáveis permitirão um maior conhecimento dos ambientes de terras úmidas dessa área e contribuirão para o manejo e preservação da Unidade de Conservação. Além disso, linhas de

pesquisas envolvendo espécies exóticas, desenvolvimento de baceiros, assinatura espectral de espécies de plantas aquáticas e imagens de alta resolução são pontos cruciais para o entendimento da complexidade das paisagens que compõem o RVS do Rio Pandeiros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASPRS (2005). *Manual of remote sensing: Human Settlements* (3rd ed.), Volume 5. New York, NY: (American Society for Photogrammetry and Remote Sensing) John Wiley and Sons.

Asrar, G. (1989). *Theory and Applications of Optical Remote Sensing*. 734, p.

Baker, C., R. Lawrence, C. Montagne, e D. Patten (2006). Mapping wetlands and riparian areas using landsat etm+ imagery and decision-tree-based models. *Wetlands* 26(2), 465–474.

Barret, E. e L. F. Curtis (1982). *Introduction to Environmental Remote Sensing*. Chapman and Hall Ltda.

Benatti, J., A. Surgik, G. Treccani, D. Mcgrath, e A. Gama (2005). *A questão fundiária e o manejo dos recursos naturais da várzea: Uma análise para a elaboração de novos modelos jurídicos*.

Bonetto, A. (1976). *Calidad de las aguas del río Paraná. Introducción a su estudio ecológico*. 202, p.

Brasil (1965). *Lei federal n_ 4771, de 15 de setembro de 1965*. Diário Oficial da República Federativa do Brasil.

Brasil (2000). *Decreto-lei n_ 9.985, de 18 de julho de 2000*. Diário Oficial da República Federativa do Brasil.

Brasil (2001). *Medida provisória n_2.166-67, de agosto de 2001*. Diário Oficial da República Federativa do Brasil.

Chubey, M., S. Franklin, e M. Wulder (2006). Object-based analysis of ikonos-2 imagery for extraction of forest inventory parameters. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 72(4), 383–294.

Dechka, J., S. Franklin, M. Watmough, R. Bennett, e D.W.Ingstrup (2002). Classification of wetland habitat and vegetation communities using multi-temporal ikonos imagery in southern saskatchewan. *Canadian Journal of Remote Sensing* 28(5).

Diegues, A. (1994). *An Inventory of Brazilian Wetlands*. IUCN, Gland, Switzerland.

Dillabaugh, K. e J. Douglas (2008). Riparian marshland composition and biomass mapping using ikonos imagery. *Canadian Journal of Remote Sensing* 34(2), 143–158.

Dugan, P. (1993). *Wetlands in Danger*. Michael Beasley, Reed International Books, London. Federal Register (1994). *Changes in Hydric Soils of the United States*. Washington, D.C.

Franklin, S. E. (2001). *Remote Sensing for Sustainable Forest Management*. Boca Raton, FLA: Lewis Publishers.

- Gopal, B. (1990). *Aquatic weed problems and management in Asia*, Capítulo Aquatic weeds: the ecology and management of nuisance aquatic vegetation, pp. 318–340. Oxford University Press.
- Irgang, B. e C. G. Junior (1996). *Macrófitas aquáticas da planície costeira do RS*. Porto Alegre. 290, p.
- Jensen, J. R. (2005). *Introductory Digital Image Processing* (3rd ed.). Pearson Prentice Hall, New Jersey.
- Junk, W., P. Bailey, e R. Sparks (1989). The flood pulse concept in river-floodplain systems. *Proc. of the Internat. Large River. Symp. Can. Spec. Pbl. Fish. Aquat. Sci.* 106., 110–127.
- Mactaggart, J. Bauer, D. Goldney, e A. Rawson (2006). Problems in naming and defining the swampy meadow - an australian perspective. *Journal of Environmental Management*.
- Maillard, P. (2003). Comparing texture analysis methods through classification. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 69(4), 357–367.
- Mather, P. M. (2004). *Computer processing of remotely-sensed images: an introduction*. John Wiley and Sons.
- Melack, J. (2004). *Manual of Remote Sensing: Remote Sensing for Natural Management and Environmental* (4ed ed.), Capítulo Monitoring Tropical freshwater wetlands, pp. 319–343. New Jersey.
- Minas Gerais (1995). *Lei estadual n_ 11.901*. Diário Oficial do Estado de Minas Gerais.
- Minas Gerais (2004). *Lei estadual n_ 43.910*. Diário Oficial do Estado de Minas Gerais.
- Ministério do Meio Ambiente - MMA (2010). <http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>
- Mitsch, W. e J. Gosselink (2000). *Wetlands*. New York: Wiley.
- Myers, N., R. Mittermeier, C. Mittermeier, G. Fonseca, e J. Kent (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* (403), 853–858.
- National Research Council (1995). *Wetlands: Characteristics and Boundaries*. National Academy Press, Washington.
- National Wetlands Working Group (1997). *The Canadia Wetland Classification System*.
- Neiff, J. (1997). Aspectos conceptuales para la evaluacion ambiental de tierras húmedas continentales de américa del sur. *Anais do VII Seminário Regional de Ecologia. São Carlos, Brasil. VIII*, 1–18.
- Neiff, J. e A. Neiff (2003). *Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas* (2 ed.), Capítulo Connectivity processes as a basis for the management of aquatic plants, pp. 39–58.

- Novo, E. (1992). *Sensoriamento Remoto Princípios e Aplicações*. 308, p.
- Odum, E. (1988). *Ecologia*. Guanabara.
- Oliveira-Filho, A. e J. Ratter (2002). *The Cerrados of Brazil: Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna*. (1 ed.), Capítulo Vegetation Physiognomies and Woody Flora of the Cerrado Biome., pp. 337. New York.
- Palombo, C. e M. Pereira (1992). Monitoramento de plantas aquáticas por satélite. *Ambiente* 6(1), 49–54.
- Pott, A. (2003). *Humedales de Iberoamérica*, Capítulo Vegetação do Pantanal, pp. 380. Red Iberoamericana de Humedales.
- Pott, V. e A. Pott (2002). *Plantas Aquáticas do Pantanal*. 404, p.
- Ramsar Convention Secretariat (2008). *The List of Wetlands of International Importance*. Ramsar Convention Secretariat, Gland, Switzerland.
- Thomaz, S. e L. Bini (2003). *Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas* (2 ed.), Capítulo Análise crítica dos estudos sobre macrófitas aquáticas desenvolvidos no Brasil, pp. 19–38.
- Tooth, S. e T. S. McCarthy (2007). Wetlands in drylands: geomorphological and sedimentological characteristics, with emphasis on examples from southern africa. *Progress in Physical Geography* 31(1), 3–41.
- Tso, B. e P. Mather (2001). *Classification Methods for Remotely Sensed Data*. London: Taylor and Francis.
- Universidade Federal de Lavras (2006). *Mapeamento e inventário da flora nativa e dos reflorestamentos de Minas Gerais*.
- Yu, Q. e D. Clausi (2008). Irgs: image segmentation using edge penalties and region growing. *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence* 30(12), 2126–2139.

ANEXO I – DEFINIÇÕES DE TERRAS ÚMIDAS

Canadian Wetland Definition

“Land that is saturated with water long enough to promote wetland or aquatic processes as indicated by poorly drained soils, hydrophytic vegetation and various kinds of biological activity which are adapted to a wet environment.”

Ramsar

“Areas of marsh, fen, peatland or water, whether natural or artificial, permanent or temporary, with water that is static or flowing, fresh, brackish, or salt including areas of marine water, the depth of which at low tide does not exceed 6 meters.”

U.S. National Academy of Sciences Definition

“A wetland is an ecosystem that depends on constant or recurrent, shallow inundation or saturation at or near the surface of the substrate. The minimum essential characteristics of a wetland are recurrent, sustained inundation or saturation at or near the surface and the presence of physical, chemical, and biological features reflective of recurrent, sustained inundation or saturation. Common diagnostic features of wetlands are hydric soils and hydrophytic vegetation. These features will be present except where specific physiochemical, biotic, or anthropogenic factors have removed them or prevent their development.”

Definición para los grandes humedales de Sudamérica

“Sistemas de cobertura sub-regional en los que la presencia temporal de una capa de agua de variable espesor (espacial y temporalmente) condiciona flujos biogeoquímicos propios, suelos con acentuado hidromorfismo y una biota peculiar por procesos de selección, que tiene patrones propios en su estructura y dinámica. Pueden considerarse como macrosistemas cuya complejidad crece con la variabilidad hidrosedimentológica y la extensión geográfica ocupada”

Mapping a wetland complex in the Brazilian savannah using an Ikonos image: assessing the potential of a new region-based classifier

Ivan Seixas Barbosa and Philippe Maillard

Abstract. The Pandeiros is a unique wetland in northern Minas Gerais, Brazil. Even though it is an official wildlife sanctuary, it suffers from increasing degradation because of livestock grazing and other forms of human activity. The absence of specific laws defining and protecting wetlands in Brazil is partly responsible for this situation. Having no official designation, most environments of the Pandeiros have not yet been identified or characterized as wetlands. This article presents a comparison between an unsupervised region-based classification approach and traditional supervised and unsupervised classification techniques for mapping different environments within this complex wetland system. All three classification methods were tested and their results compared with field data and with an interpreted reference map. The results suggest that the traditional supervised classification approach and the new region-based approach have good potential for identifying the main vegetal physiognomies, but the latter yielded superior results, with an estimated accuracy of 95% compared with 88% for the former. The region-based approach had the advantage of a

Résumé. Le Pandeiros est un complexe de terres humides du nord du Minas Gerais au Brésil. Malgré le fait d'être un sanctuaire officiel de la faune, la région souffre de plus en plus de dégradation dues au pâturage et à d'autres formes d'activités humaines. L'absence de lois spécifique qui définient et protègent ces environnements est partiellement responsable de cette situation. N'ayant pas de désignation officielle, la plupart des environnements du Pandeiros n'ont toujours pas été identifiés ou caractérisés comme terres humides. Dans cet article, nous présentons une comparaison entre une approche de classification basée par objet et des algorithmes traditionnels de classification supervisée et non-supervisée pour la cartographie des différents environnements qui composent ce complexe de terres humides. Les trois méthodes ont été testées et leurs résultats comparés avec des données de terrain et une carte interprétée de référence. Les résultats suggèrent que l'approche supervisée traditionnelle et l'approche basée par objet présentent tous deux un bon potentiel pour identifier les principales physiognomies végétales mais que ce dernier offre des résultats supérieurs avec une exactitude estimée de 95 % contre 88 %. L'approche basée par objet a l'avantage d'une meilleure consistance spatiale qui facilite l'interprétation de l'image classifiée. Dans une seconde approche d'évaluation, nous avons comparé les résultats avec une carte interprétée de référence et obtenu des précisions de 70 %, 41 % et 39 % pour l'approche basée par région, le maximum de vraisemblance et l'ISODATA respectivement.

Introduction

Wetlands provide several essential ecosystem services (Constanza et al., 1997). In 1971, an intergovernmental treaty, the Ramsar Convention, was signed with the aim to build a framework for the conservation and wise use of these areas (Ramsar Convention Secretariat, 2006). Although Brazil is part of this agreement, there is no legal concept of wetlands in Brazilian laws, and few programs have been developed with the aim to protect these areas. The absence of an agenda to protect these environments is a national

contradiction, since Brazil holds 44% of all freshwater resources in Latin American and 12% of the world's freshwater resources (FAO, 2002). The conservation of these areas requires mapping their location and characteristics and monitoring how human activities impact them.

Due to the lack of a national definition of wetlands, we adopted the concept established by Canada's National Wetlands Working Group (1997), which defines wetlands as environments where areas remain saturated for long enough to promote aquatic processes as indicated by poorly drained soils, hydrophytic vegetation, and a wide range of biological

Received 14 October 2009. Accepted 21 April 2010. Published on the Web at <http://pubservices.nrc-enr.ca/cjrs> on 21 January 2011.

I.S. Barbosa,¹ Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Av. Antônio Carlos, 6627 Belo Horizonte MG, Brazil, and Instituto Estadual de Florestas de Minas Gerais, Belo Horizonte MG, Brazil.

P. Maillard, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Av. Antônio Carlos, 6627 Belo Horizonte MG, Brazil.

¹Corresponding author (e-mail: ivansbarbosa@gmail.com).

ANEXO III – TRABALHO APRESENTADO NO ISPRS TC VII SYMPOSIUM – 100 YEARS ISPRS.

In: Wagner W., Székely, B. (eds.): ISPRS TC VII Symposium – 100 Years ISPRS, Vienna, Austria, July 5–7, 2010, IAPRS, Vol. XXXVIII, Part 7B

Contents

Author Index

Keyword Index

MAPPING WETLAND ENVIRONMENTS IN THE BRAZILIAN SAVANNAH FROM HIGH RESOLUTION IKONOS IMAGE DATA

I. Barbosa^{ab}

^a Federal University of Minas Gerais, Geo science Institute, 31270-901, Belo Horizonte, Brazil.

^b State Forest Institute of Minas Gerais – Biodiversity Management, Belo Horizonte, Brazil

Commission VI, WG VI/4

KEY WORDS: Classification, High resolution, IKONOS, Land Cover, Texture, Vegetation, Wetlands

ABSTRACT:

Wetlands are complex ecosystems hosting a high diversity of landscape associated with water, soil and vegetation variations. It provides several essential resources for wildlife and human populations and supports a miscellany of aquatic plant species. The *Pandeiros* Wildlife Sanctuary is a unique wetland ecosystem surrounded by semiarid savannas. It supports large communities of macrophytes and terrestrial plants and stores large quantities of organic matter. In this article we propose a methodology for classifying these wetlands using their spectral and textural signature extracted from Ikonos image data. The main plant communities were identified from low altitude photographs acquired with a microlight aircraft. Ground data also complemented these photographic records. Classification trials were made using both spectral and spatial feature (texture) to assess the most appropriate approach. As a result five classes of macrophytes (as dominant specie) and four terrestrial classes were identified with an accuracy of over 80%. Texture data brought a significant improvement to the classification.

RÉSUMÉ:

Les zones humides sont des écosystèmes complexes accueillant une grande diversité de paysages associée à l'eau, aux sols et aux variations de la végétation. Il offre plusieurs ressources essentielles pour la faune et les populations humaines et soutient une grande variété d'espèces de plantes aquatiques. Le Refuge Faunique du *Pandeiros* est un écosystème humide unique entouré par la savane semi-aride. Il supporte de grandes communautés de macrophytes et les plantes terrestres et une quantité importante de matière organique. Dans cet article, nous proposons une méthodologie de classification de ces zones humides basée sur leur signature spectrale et texturale extraite à partir des données d'image Ikonos. Les principales communautés végétales ont été identifiées à partir de photographies à faible altitude acquise avec un ULM. Des données au sol ont également complété ces documents photographiques. Des essais de classification ont été faits en utilisant les caractéristiques spatiales et spectrales (texture) pour évaluer l'approche la plus appropriée. En conséquence cinq classes de macrophytes (comme espèce dominante) et quatre classes terrestres ont été identifiés avec une précision de plus de 85%. Les données de texture ont apporté une amélioration significative à la classification.

1. INTRODUCTION

Wetlands were previously seen as dirty, dangerous and unimportant areas by most Western communities (Gooselink, 2003). Since the Ramsar Convention, a new perception of those environments spread through occident. Several governments agreed in built a framework for the conservation and wise use of these areas (Ramsar 2006). Brazil is one of the signatory parties of the convention and holds numerous wetlands in its territory.

Although Brazil recognize the importance of Wetlands, a lack of definition and specific protecting laws threat this environments. Due to this absence, we adopted the Canada's National Wetlands Working Group (1997) concept which considers wetlands areas saturated by water long enough to support aquatic process as indicated by aquatic vegetation, poorly drained soils and biological activity adapted to this particular conditions.

The Pandeiros River Flood Plain presents all this characteristics and is considered an important wetland site in Brazil. It is even more special since it is located in a region of water scarcity surrounded by savanna vegetation. It provides several ecosystem services such as recycling nutrients, fixing carbon and recharging the aquifer. Due to its relevance the State Government acknowledged this site as a Wildlife Sanctuary. However, the recognition as a protected area does not ensure the preservation of this region. Large areas still been used to raise cattle and several small ones are drained and used by communities for family farming (Barbosa, 2009).

Since it is a unique site in Brazil, identifying types of wetlands found in this environment will subsidized its proper management and conservation. Nevertheless, this task is a challenge since Pandeiros host a complex ecosystem with a high diversity of landscapes.