

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

JULIANA RIBEIRO NISHIHARA PINTO

**UTILIZAÇÃO INTEGRADA DE SENSORIAMENTO REMOTO E SOFTWARES  
LIVRES DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA PARA O MAPEAMENTO DE  
WETLANDS NA BACIA DO ALTO IGUAÇU - PR**

CURITIBA

2016

JULIANA RIBEIRO NISHIHARA PINTO

**UTILIZAÇÃO INTEGRADA DE SENSORIAMENTO REMOTO E *SOFTWARES*  
LIVRES DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA PARA O MAPEAMENTO DE  
*WETLANDS* NA BACIA DO ALTO IGUAÇU - PR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
como requisito parcial à obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Ambiental, Setor de  
Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Felga Gobbi

CURITIBA

2016

## **AGRADECIMENTOS**

Em especial, aos professores Eduardo Gobbi, Marcelo Coelho e Cristovão Fernandes, pelo constante apoio técnico e moral durante o desenvolvimento da pesquisa e pela sabedoria compartilhada.

Aos professores Hideo Araki e Silvana Camboim, pelas experiências e conhecimentos adquiridos ao longo da disciplina.

A professora Celia Yamamoto, pela disposição em participar do projeto e por todos os ensinamentos partilhados.

A todos aqueles que contribuíram de alguma forma para a conclusão deste trabalho.

## RESUMO

O presente estudo está fundamentado na importância dos ecossistemas úmidos, mundialmente conhecidos como *wetlands*, para a manutenção do equilíbrio ecológico global. Com o intuito de auxiliar os gestores ambientais a administrarem corretamente estas regiões, definiu-se como objetivo principal a realização de um mapeamento das *wetlands* inseridas na bacia do Alto Iguaçu - PR, utilizando apenas *softwares* livres de Sistema de Informação Geográfica (SIG). Para tanto, foi aplicado o método de classificação supervisionada de imagens de sensoriamento remoto, em conjunto com a sobreposição de camadas vetoriais. Como resultado, obteve-se um mapa temático de cobertura do solo que demonstra a distribuição aproximada das zonas alagáveis presentes na área de estudo. Por fim, utilizou-se a publicação em nuvem para disponibilizar ao público geral o mapeamento realizado, com vistas ao compartilhamento gratuito de informações.

Palavras-chave: Bacia do Alto Iguaçu. Classificação Supervisionada de Imagens. Sistema de Informação Geográfica. *Softwares* livres. *Wetlands*.

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| FIGURA 1 - <i>WETLAND</i> WHANGAMARINO, NOVA ZELÂNDIA.....  | 15 |
| FIGURA 2 - UNIDADES HIDROGRÁFICAS DO ESTADO DO PARANÁ.....  | 20 |
| FIGURA 3 - BACIAS HIDROGRÁFICAS DO ESTADO DO PARANÁ.....  | 21 |
| FIGURA 4 - SUB-BACIAS DO ALTO IGUAÇU.....   | 22 |
| FIGURA 5 - ÁREA DE INTERESSE ESPECIAL REGIONAL DO IGUAÇU - AIERI.....   | 25 |
| FIGURA 6 - FEIÇÕES VETORIAIS.....   | 27 |
| FIGURA 7 - FEIÇÕES MATRICIAIS.....  | 29 |
| FIGURA 8 - SOBREPOSIÇÃO DE CAMADAS EM UM SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA.....  | 31 |
| FIGURA 9 - EMPILHAMENTO DE BANDAS MULTIESPECTRAIS.....  | 33 |
| FIGURA 10 - CURVAS DE REFLECTÂNCIA ESPECTRAL DA VEGETAÇÃO, DO SOLO E DA ÁGUA LIMPA E TURVA ASSOCIADAS ÀS BANDAS DO SENSOR DO LANDSAT 8 OLI.....           | 35 |
| FIGURA 11 - DISTRIBUIÇÃO GAUSSIANA COM DT = 2000.....   | 38 |
| FIGURA 12 - DISTRIBUIÇÃO GAUSSIANA COM DT < 2000.....   | 39 |
| FIGURA 13 - FLUXOGRAMA METODOLÓGICO.....  | 42 |
| FIGURA 14 - MAPA DA BACIA DO ALTO IGUAÇU - PR.....  | 44 |
| FIGURA 15 - IMAGEM DO SATÉLITE LANDSAT 8 OLI PARA ÓRBITA 221 E PONTO 078.....   | 46 |
| FIGURA 16 - IMAGEM DO SATÉLITE LANDSAT 8 OLI PARA ÓRBITA 220 E PONTO 078.....   | 47 |
| FIGURA 17 - IMAGEM DO SATÉLITE LANDSAT 8 OLI PARA A BACIA DO ALTO IGUAÇU - PR.....  | 48 |
| FIGURA 18 - MATRIZ EXEMPLIFICATIVA.....   | 52 |
| FIGURA 19 - COMPARATIVO DE CORPOS D'ÁGUA RASOS EM IMAGEM COLORIDA DO SATÉLITE LANDSAT 8 OLI E DO <i>GOOGLE MAPS</i> .....                                 | 54 |
| FIGURA 20 - FUSÃO DE IMAGENS MULTIESPECTRAL E PANCRÔMÁTICA DO SATÉLITE LANDSAT 8 OLI PARA A BACIA DO ALTO IGUAÇU - PR.....                                | 56 |
| FIGURA 21 - RESULTADO DA FUSÃO DE IMAGENS DO SATÉLITE LANDSAT 8 OLI, EM TERMOS DE RESOLUÇÃO ESPACIAL.....   | 57 |
| FIGURA 22 - RESULTADO DA CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA DE IMAGENS EM <i>SOFTWARE</i> MULTISPEC PARA A ÓRBITA 221, PONTO 078 DO SATÉLITE LANDSAT 8 OLI..... | 58 |

|   |    |
|---|----|
| FIGURA 23 - MATRIZ DE ERROS OBTIDA APÓS A CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA EM <i>SOFTWARE</i> MULTISPEC.....  | 59 |
| FIGURA 24 - DIVERGÊNCIA TRANSFORMADA DE BANDAS ESPECTRAIS.....  | 60 |
| FIGURA 25 - IMAGEM ORBITAL EM COMPOSIÇÃO COLORIDA 654: (A) ANTES DA CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA EM <i>SOFTWARE</i> MULTISPEC; (B) DEPOIS DA CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA EM <i>SOFTWARE</i> MULTISPEC..... | 61 |
| FIGURA 26 - IMAGEM FUSIONADA DO SATÉLITE LANDSAT 8 OLI PARA A BACIA DO ALTO IGUAÇU - PR.....  | 63 |
| FIGURA 27 - RESULTADO DA CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA DE IMAGENS EM <i>SOFTWARE</i> QGIS PARA A BACIA DO ALTO IGUAÇU - PR.....  | 64 |
| FIGURA 28 - MATRIZ DE ERROS OBTIDA EM <i>SOFTWARE</i> QGIS.....   | 65 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| TABELA 1 - BANDAS ESPECTRAIS DO SATÉLITE LANDSAT 8.....  | 32 |
| TABELA 2 - PRINCIPAIS INTERVALOS DO ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO.....                                    | 34 |
| TABELA 3 - PRINCIPAIS INFORMAÇÕES DOS ARQUIVOS VETORIAIS<br>OBTIDOS.....                             | 43 |
| TABELA 4 - ÁREAS DE DRENAGEM DAS SUB-BACIAS DO ALTO IGUAÇU - PR...                                   | 45 |
| TABELA 5 - IMAGENS ANALISADAS DO SATÉLITE LANDSAT 8 OLI E SUAS<br>PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS.....    | 46 |
| TABELA 6 - PERCEPÇÃO DE ALVOS EM IMAGEM DO SATÉLITE LANDSAT 8 OLI<br>EM COMPOSIÇÃO COLORIDA 654..... | 51 |
| TABELA 7 - ÍNDICES DE ACURÁCIA PARA CADA CLASSE DE INFORMAÇÃO<br>OBTIDA EM SOFTWARE MULTISPEC.....   | 60 |

## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| 1 INTRODUÇÃO.....  | 9  |
| 2 OBJETIVOS.....   | 10 |
| 2.1 OBJETIVO GERAL.....  | 10 |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....   | 10 |
| 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....   | 11 |
| 3.1 <i>WETLANDS</i> .....  | 11 |
| 3.2 ADAPTAÇÃO BASEADA EM ECOSISTEMAS.....                              | 12 |
| 3.3 BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO IGUAÇU - PR.....                        | 19 |
| 3.4 LEGISLAÇÕES PERTINENTES.....                                       | 23 |
| 3.5 SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG).....                        | 26 |
| 3.5.1 DADOS GEOGRÁFICOS.....   | 27 |
| 3.5.2 SENSORIAMENTO REMOTO.....  | 31 |
| 3.5.2.1 MÉTODOS DE CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS.....                       | 36 |
| 3.5.2.1.1 CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA DE IMAGENS.....                 | 37 |
| 3.5.3 <i>SOFTWARE</i> QGIS.....  | 39 |
| 3.5.4 <i>SOFTWARE</i> MULTISPEC.....                                   | 40 |
| 3.5.5 SATÉLITE LANDSAT 8 OLI.....                                      | 40 |
| 4 MATERIAIS E MÉTODOS.....   | 42 |
| 4.1 OBTENÇÃO E ADEQUAÇÃO DE CAMADAS VETORIAIS.....                     | 42 |
| 4.2 OBTENÇÃO E PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS ORBITAIS.....          | 45 |
| 4.3 PÓS-PROCESSAMENTO DE IMAGENS.....                                  | 55 |
| 4.4 PUBLICAÇÃO EM NUVEM.....   | 55 |
| 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....   | 56 |
| 6 CONCLUSÕES.....  | 68 |
| 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES.....                            | 70 |
| 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....                                      | 71 |
| ANEXO: MAPEAMENTO DE <i>WETLANDS</i> NA BACIA DO ALTO IGUAÇU - PR..... | 78 |

## 1 INTRODUÇÃO

Em diversas paisagens, são encontrados os ecossistemas denominados *wetlands*, caracterizados por zonas úmidas de significativa importância ecológica. Quando bem gerenciadas, as *wetlands* realizam serviços ecossistêmicos vitais para a manutenção da biodiversidade e o equilíbrio do meio ambiente (IBAMA/SEMA/IAP, 2008, p. 2). Apesar disso, a importância das *wetlands* não está completamente difundida nas sociedades, uma vez estas áreas são, frequentemente, superexploradas e degradadas, ameaçando a sua existência (YAMAMOTO, C. R. G., 2011, p. 5).

Em muitos casos, a estabilidade das *wetlands* é perturbada por atividades humanas, tais como a mineração, o lançamento inadequado de resíduos e efluentes e a construção de barragens ou outras obras de engenharia que modificam o regime hidrológico. A poluição das águas, comumente associada à administração inadequada dos recursos hídricos, também provoca graves impactos às áreas úmidas. (ANTHEUNISSE, A. M. *et al.*, 2006, p. 1040; NEIFF, J. J., 1999, p.142; TOCKNER, K.; STANFORD, J. A., 2002, p. 312-314; VERHOEVEN, J. T. A. *et al.*, 2008, p. 1502). Portanto, é necessário que ocorra uma integração entre os diferentes instrumentos, tecnologias e políticas de gestão, com vistas à proteção das *wetlands* e de suas funções ecológicas, especialmente àquelas ligadas aos recursos hídricos.

Na bacia do Alto Iguaçu, tem-se o avanço populacional como uma das principais ameaças ao funcionamento das *wetlands*, sendo o responsável por impor pressões crescentes sobre os recursos das áreas úmidas. Além disso, verifica-se a instalação de assentamentos irregulares nas várzeas, comprometendo ainda mais a qualidade destes ecossistemas e dificultando o seu gerenciamento. (YAMAMOTO, C. R. G., 2011, p. 2-3, 7, 125).

Neste contexto, os gestores ambientais dispõem de interessantes ferramentas gratuitas, tal como o Sistema de Informação Geográfica (SIG), que podem ser utilizadas durante o planejamento estratégico. Assim, é possível integrar o uso de geotecnologias livres para realizar ações de monitoramento ambiental, além da elaboração de inventários e diagnósticos locais, com o intuito de subsidiar a tomada de decisão.

No presente estudo, buscou-se desenvolver um mapeamento das áreas alagadiças presentes na bacia do Alto Iguaçu, com o intuito de auxiliar os gestores ambientais na administração destes ecossistemas.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Partindo do princípio de que as *wetlands* são ecossistemas indispensáveis ao equilíbrio do meio ambiente e, por isso, necessitam de um gerenciamento adequado, desenvolveu-se o presente trabalho como uma forma de contribuir com a gestão das áreas úmidas, em geral. Para o propósito da pesquisa, foram consideradas três premissas:

- i. a administração correta de um determinado recurso depende do seu reconhecimento inicial;
- ii. o gerenciamento adequado dos ecossistemas, sobretudo das *wetlands*, proporciona inúmeros benefícios sentidos por toda a biota;
- iii. e a importância das *wetlands* não está plenamente difundida nas sociedades, tendo em vista a sua frequente degradação.

Assim, definiu-se como objetivo central do estudo a realização de um mapeamento das *wetlands* que compõe a bacia do Alto Iguaçu, por meio da utilização de geotecnologias e *softwares* livres. Para tanto, optou-se pela associação de duas técnicas: a classificação supervisionada de imagens orbitais; e a sobreposição de camadas vetoriais.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

No sentido de fornecer maiores subsídios ao gerenciamento das *wetlands* na área de estudo, foram estabelecidos dois objetivos adicionais:

- i. a elaboração de um mapeamento temático de cobertura do solo, aplicado aos limites da bacia do Alto Iguaçu;
- ii. e a publicação do mapa final em nuvem, com vistas ao compartilhamento gratuito de informações.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 WETLANDS

Os ecossistemas úmidos, ou *wetlands*, como são mundialmente conhecidos, consistem em zonas de transição entre os ambientes terrestre e aquático, sendo que a presença de água pode ocorrer de forma sazonal ou permanente, em geral, sob lâminas com pequenas profundidades (MONTEIRO, R. C. M., 2009, p. 21). Em geral, as *wetlands* são áreas planas e alagadiças, em virtude de suas condições de localização, precipitação e drenagem. Nesta definição abrangente, ficam incluídas as planícies de inundação e as várzeas de rios, além das áreas inundadas que se encontram próximas aos manguezais e às lagoas (YAMAMOTO, C. R. G., 2011, p. 19 *apud* TASSI, R., 2007). O principal fator que controla a dinâmica deste ambiente é a água, que pode ser classificada como doce, salobra ou salgada, associando-se com os meios de subsistência dos animais e vegetais. (RAMSAR CONVENTION, 1971, p. 1). Por este motivo, as *wetlands* são sistemas complexos que possuem um papel fundamental na sobrevivência e na manutenção da qualidade de vida de muitas espécies, além de prestarem diversos serviços ecológicos que beneficiam toda a biota.

Popularmente, as zonas úmidas são consideradas como os “rins da Terra”, pelo fato de atuarem como excelentes filtros para a remoção de nutrientes, contaminantes, poluentes e metais tóxicos da água, contribuindo assim com a ciclagem de elementos e a purificação dos recursos hídricos (MITSCH, W. J.; GOSELINK, J. G., 2015, p. 4). Portanto, quando bem gerenciadas, as *wetlands* auxiliam no gerenciamento do binômio qualidade/quantidade que sustenta a gestão dos recursos hídricos. Além disso, as áreas úmidas influenciam positivamente na conservação da biodiversidade global, apresentando ainda um grande potencial turístico, econômico e recreativo, o que favorece sua integração em diferentes paisagens.

Considerando apenas algumas das funções que auxiliam diretamente os seres humanos, é possível citar o controle de cheias, a recarga de aquíferos, o armazenamento de água e a melhoria em sua qualidade e a mitigação das mudanças climáticas, através do sequestro de carbono e da estabilização de um microclima (MCLAUGHLIN, D. L.; COHEN, M. J., 2013, p. 1620).

Por estarem entre os ativos mais importantes do mundo, as *wetlands* auxiliam no fornecimento de diversos produtos e serviços, muitos deles indispensáveis à harmonia do meio ambiente e ao desenvolvimento social, tais como o abastecimento de água, a provisão

de recursos agrícolas e florestais, a promoção da pesca e a variedade de fauna e flora (MARTÍNEZ, A. A. A.; RODRÍGUEZ, J. M.; HERNÁNDEZ, A. C., 2014, p. 169).

O primeiro tratado intergovernamental formulado especificamente para as áreas úmidas foi assinado em 3 de fevereiro de 1971, por representantes de 18 países, na cidade iraniana de Ramsar (RAMSAR CONVENTION, 2013, p. 21). Este documento, originalmente denominado “Convenção sobre Zonas Úmidas de Importância Internacional, especialmente como Habitat para Aves Aquáticas”, entrou em vigor em 1 de dezembro de 1975, com o intuito de incentivar a conservação e o uso racional destes ecossistemas. Em 1993, o Brasil se tornou um membro signatário, adquirindo novas obrigações, como a realização de um inventário de áreas úmidas importantes, para integrar a Lista de Sítios Ramsar e se tornar alvo de compromissos a serem cumpridos.

No artigo 1.1 do tratado, as *wetlands* estão definidas como pântanos, charcos, turfeiras ou superfícies cobertas por água, podendo ser natural ou artificial, permanente ou temporária, estagnada ou corrente, doce, salobra ou salgada. Nesta definição, também estão incluídas as zonas ribeirinhas, as áreas costeiras adjacentes e as ilhas ou corpos de água marinha com profundidade de até 6 metros, em condições de maré baixa. Ainda de acordo com a classificação de Ramsar, existem 42 tipos de *wetlands*, englobadas em cinco sistemas: marinho, estuarino, lacustre, ribeirinho e palustre. Estes sistemas, por sua vez, devem estar inseridos em uma das três categorias principais de *wetlands*: interiores; marinhas/costeiras; e artificiais (RAMSAR CONVENTION, 1971, p. 2).

### 3.2 ADAPTAÇÃO BASEADA EM ECOSSISTEMAS

Os efeitos adversos das mudanças climáticas, que vão desde a elevação do nível do mar e o aquecimento da atmosfera até o aumento da frequência e da intensidade de eventos extremos – como tempestades severas, secas prolongadas, enchentes, furacões, tsunamis e terremotos – afetam significativamente os ecossistemas e, conseqüentemente, todas as sociedades que dependem de seus múltiplos serviços ambientais, sobretudo as mais vulneráveis. Como resultado, é possível que haja uma perda generalizada da biodiversidade, responsável por aumentar ainda mais a vulnerabilidade das comunidades humanas contra os impactos climáticos.

Este cenário de desequilíbrio ecológico torna-se cada vez mais preocupante em virtude do processo de expansão urbana, que modifica o entorno dos ecossistemas, influenciando na formação de novos riscos. No contexto das bacias hidrográficas, a urbanização é capaz de alterar o regime hidrológico e desestabilizar encostas, ampliando

as ameaças relacionadas com eventos de inundações e deslizamentos de terra (UNISDR, 2012, p. 49).

Por outro lado, quando se encontram em condições saudáveis, os ecossistemas conseguem atuar como barreiras de proteção natural contra diversas ameaças, sendo considerados agentes reguladores do clima, responsáveis por ampliar a resiliência das sociedades. Desta forma, além de reduzir os riscos de desastres, a conservação dos ecossistemas pode garantir os meios de subsistência, através da provisão de água pura, alimentos, produtos medicinais, solo fértil, abrigo e outros recursos.

Em uma abordagem centrada na importância dos ecossistemas para o equilíbrio do meio ambiente e a mitigação das mudanças climáticas, surge o conceito de Adaptação baseada em Ecossistemas (AbE) ou *Ecosystem-based Adaptation* (EbA), em inglês. Este termo foi proposto em 2009, durante a Convenção sobre Diversidade Biológica, sendo definido como o uso da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos em uma estratégia global de adaptação, que inclui a gestão sustentável, a conservação e a recuperação dos ecossistemas para fornecer serviços que ajudam as pessoas a se adaptarem aos efeitos adversos das mudanças climáticas (CDB, 2009, p. 10)

Em síntese, a Convenção sobre Diversidade Biológica é um tratado internacional que busca assegurar a conservação e o uso sustentável da biodiversidade, além de promover a repartição justa e equitativa dos benefícios provenientes de recursos genéticos e dos conhecimentos tradicionais associados. Em vigor desde 1993, a CDB foi estabelecida durante a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (Eco-92), realizada no Rio de Janeiro, em 1992. Atualmente, o tratado já foi assinado por 196 países, dos quais 168 o ratificaram, incluindo o Brasil, através do Decreto n. 2.519, de 16 de março de 1998.

De acordo com a Fundação Grupo Boticário de Proteção à Natureza (2015, p. 12), existem três critérios básicos que um programa, um projeto ou uma ação precisam cumprir para serem considerados como uma medida de Adaptação baseada em Ecossistemas: (i) utilizar a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos, envolvendo ações de conservação, recuperação e/ou gestão de ecossistemas; (ii) possuir como objetivos medidas de adaptação para sociedades; e (iii) aplicar lentes climáticas, isto é, analisar uma estratégia indicando os riscos que as mudanças do clima representam para as metas de desenvolvimento a longo prazo (OCDE, 2011, p. 80). Entretanto, estes critérios apresentam uma certa variabilidade, dependendo do autor ou da organização que trata do assunto.

Partindo do princípio de que os ecossistemas agem como amortecedores naturais contra desastres, em geral, os custos para gerenciar estes ambientes são bem menores,

quando comparados com infraestruturas físicas, tais como barragens, diques ou barreiras de concreto. Ainda, por se tratar de uma estratégia que utiliza basicamente a capacidade adaptativa da natureza diante de qualquer ameaça, muitas vezes, apresenta maior eficácia.

A aplicação das medidas de Adaptação baseada em Ecossistemas pode estar associada com outros programas, sejam eles de escala geográfica local, regional ou nacional, com planejamento previsto para curto, médio ou longo prazo. Além disso, as estratégias de AbE se ajustam em vários contextos, especialmente em populações vulneráveis e de baixo poder aquisitivo, cujo modo de vida está intimamente relacionado com os recursos naturais e as funções ecossistêmicas.

Sendo assim, as práticas de Adaptação baseada em Ecossistemas surgem como uma excelente oportunidade para minimizar os impactos decorrentes das mudanças climáticas e, ao mesmo tempo, realizar o gerenciamento das áreas naturais. Pelo fato de resultarem em benefícios ambientais, econômicos e/ou sociais, estas medidas são consideradas de “não arrependimento”, isto é, que garantem um retorno capaz de compensar o investimento realizado, independentemente das incertezas atreladas às previsões do clima e ao futuro do planeta (O BOTICÁRIO, 2015, p. 38).

Desta forma, pode-se dizer que as estratégias de AbE apresentam uma ótima relação custo-benefício para reduzir a vulnerabilidade e fortalecer a resiliência das sociedades contra os efeitos adversos das mudanças climáticas. Por isso, diversas experiências bem-sucedidas já têm sido observadas ao redor do globo, especialmente na Europa, pioneira no tema (O BOTICÁRIO, 2015, p. 21).

Focando apenas nas práticas de AbE voltadas às zonas úmidas, que incluem os processos de gestão, uso sustentável, proteção, conservação, preservação, restauração e recuperação destes ecossistemas, destacam-se oito exemplos distribuídos mundialmente, resumidos a seguir.

Na Nova Zelândia, mais de 90% das *wetlands* existentes foram impactadas de alguma forma ou até mesmo destruídas, principalmente pela extração de areia e geração de energia hidrelétrica no rio Waikato, segundo o Departamento de Conservação do governo local (2007, p. 2). Em função disso, foi elaborado, na década de 90, um programa de restauração das zonas úmidas da região, com o intuito de aumentar a resiliência dos habitats, reduzindo a sua vulnerabilidade contra as múltiplas ameaças, que incluíam aumentos previstos no regime de chuvas e inundações associadas, como um resultado das mudanças climáticas.

O centro deste estudo está na *wetland* Whangamarino (Figura 1), de aproximadamente 70 km<sup>2</sup>, sendo considerada uma zona úmida de importância internacional, desde a sua inserção na Lista de Sítios Ramsar, em 1989.

FIGURA 1 - WETLAND WHANGAMARINO, NOVA ZELÂNDIA



FONTE: *Department of Conservation In New Zealand*, 2007, p. 1.

Uma das ações adotadas durante o projeto foi o mapeamento das *wetlands*, com base em imagens aéreas, visando a identificação das áreas úmidas intactas, que teriam prioridade de proteção, e as degradadas, para posterior restauração.

Apesar de ser um projeto de longo prazo, a recuperação das *wetlands* já trouxe benefícios à comunidade local, que passou a não sofrer mais com os efeitos de inundação. Isto se deve ao fato de que, durante as grandes cheias, as zonas úmidas conseguiram exercer suas funções de armazenamento de água, evitando assim custos com a prevenção de desastres e com danos em terrenos agrícolas.

Como benefícios adicionais do programa, é possível citar o sequestro de carbono, o fornecimento de água para a irrigação, nos períodos secos, e as atividades recreativas, como a pesca, o turismo e a observação de pássaros.

Nos Estados Unidos, o governo de New Orleans incluiu, em seu Plano Diretor de 2010, um projeto de proteção e restauração das *wetlands*, a fim de aumentar a resiliência da cidade contra as enchentes, os furacões e a elevação do nível do mar, intensificados pelo aquecimento global. Esta medida é de suma importância para a região, pois dos 438 km<sup>2</sup> que formam a parcela continental de New Orleans, mais de 1/3 é constituído apenas por *wetlands* (CITY OF NEW ORLEANS, 2015, p. 15).

Após as falhas da defesa norte-americana contra o furacão Katrina, ocorrido em 2005, foram promovidas diversas iniciativas para reduzir as vulnerabilidades locais, incluindo ações referentes às zonas úmidas. A proposta foi idealizada com base no princípio de que as *wetlands* poderiam atuar como amortecedores de impactos, especialmente nas áreas em que o oceano se conecta com o continente.

Em 2015, foi realizada uma parceria público-privada para desenvolver uma estratégia completa de resiliência, na qual 75% das ações propostas foram cumpridas ou, ao menos iniciadas, após o período de um ano, inclusive aquelas voltadas à recuperação das *wetlands*. Como resultado, New Orleans conseguiu se tornar uma das 100 Cidades Resilientes, auxiliadas pela Fundação Rockefeller (CITY OF NEW ORLEANS, 2016).

Na Nigéria, encontram-se as *wetlands* Hadejia-Nguru, que cobrem uma área de aproximadamente 3.500 km<sup>2</sup>, sendo consideradas de extrema importância para a biodiversidade, por atuarem como um habitat essencial para a sobrevivência de aves migratórias e nativas (BIRDLIFE INTERNATIONAL, 2010). Além disso, este é um recurso vital para a comunidade local, pois as *wetlands* exercem uma função de abastecimento das águas subterrâneas, necessária para a realização de atividades de agricultura, pesca e pastoreio, das quais cerca de 1,5 milhões de pessoas dependem para sua renda e subsistência.

Apesar de seu valor, o funcionamento deste sistema sofreu um grande impacto após a construção de uma barragem para irrigação, reduzindo significativamente o nível e fluxo de água nos rios. Consequentemente, a espécie vegetal *Typha*, nativa da região, se proliferou rapidamente, bloqueando a passagem de água e as vias navegáveis.

Para solucionar o problema, foi criado um projeto colaborativo de recuperação das *wetlands*, em 2010, através de uma parceria entre a Fundação de Conservação da Nigéria e a organização internacional BirdLife. A etapa inicial do programa ocorreu com a participação da sociedade, que realizou uma remoção manual de indivíduos da *Typha*, utilizando ferramentas disponibilizadas pelos parceiros. Como resultado, a degradação das *wetlands* foi revertida com sucesso, trazendo benefícios imediatos para a comunidade local e para a biodiversidade, especialmente no que diz respeito ao acréscimo do fluxo de água e da quantidade de aves e peixes, diretamente relacionados com a renda familiar e o equilíbrio do ecossistema.

Em 2000, os governos da Bulgária, Moldávia, Romênia e Ucrânia se comprometeram a trabalhar juntos na elaboração de um corredor verde ao longo de toda a extensão do Baixo Rio Danúbio, de aproximadamente 1.000 km, com o intuito de proteger e restaurar *wetlands* e planícies de inundação. De acordo com a *International Commission*

*for the Protection of the Danube River* (2010), cerca de 80% das várzeas originais da região, incluindo zonas úmidas importantes, foram perdidas, devido principalmente à drenagem de água para a agricultura e a indústria.

A motivação do projeto concentrou-se nos serviços ecossistêmicos de controle de cheias e conservação da biodiversidade. Após 10 anos de existência, as práticas executadas resultaram na criação de 1.606,26 km<sup>2</sup> de novas áreas protegidas e na recuperação de 2.236,08 km<sup>2</sup> de várzeas e *wetlands* (WWF, 2010). Como consequência, a qualidade do rio melhorou, os riscos de grandes inundações foram minimizados e a comunidade local obteve ganhos econômicos com a pesca e o turismo.

Na China, mais de 70% das zonas úmidas de elevadas altitudes, localizadas em Ruoergai, passaram por um intenso processo de degradação, decorrente das atividades de mineração, pastoreio e drenagem. Em uma tentativa de reduzir a superexploração das áreas, que ocupam cerca de 4.900 km<sup>2</sup>, foi desenvolvido um esforço colaborativo em torno da causa, com o apoio da organização *Wetlands* Internacional e do governo chinês, em 2005 (WETLANDS INTERNATIONAL, 2005).

Neste projeto, a população passou a se envolver com a restauração das zonas úmidas, reduzindo o número de animais que se alimentavam do pasto, recebendo, em troca, um microcrédito. Desta forma, a disponibilização de fundos foi capaz de reduzir as pressões antrópicas e incentivar a gestão sustentável das *wetlands*, além de reduzir as vulnerabilidades e melhorar os meios de subsistência e a saúde dos moradores, em virtude dos benefícios adicionais sobre as condições de saneamento.

Na Ruanda, localizam-se as *wetlands* Rugezi, distribuídas em uma área de 67,35 km<sup>2</sup>, tendo sido reconhecidas como um Sítio Ramsar de importância internacional. Nos anos de 2003 e 2004, a cidade foi responsável por gerar uma grande quantidade de energia hidrelétrica, que logo entrou em declínio, após uma queda na profundidade do reservatório que abastecia a estação, resultando em uma crise econômica. A redução dos níveis de água foi atribuída a uma série de fatores, que incluía a má gestão das *wetlands*, a degradação do entorno do rio, a falta de manutenção da estação hidrelétrica e a redução das chuvas nos anos anteriores (HOVE, H.; PARRY, J., 2011, p. 4).

Através de uma abordagem pautada em ecossistemas, o governo local estabeleceu uma proposta de manutenção do potencial de geração de energia hidrelétrica, com base em medidas de restauração das zonas úmidas, associadas à proibição da agricultura e do pastoreio ao longo de suas margens. Contudo, muitas famílias rurais dependiam destes recursos, de modo que a subsistência da comunidade local foi colocada em risco. Como resposta, o governo realizou práticas adicionais, como a construção de barreiras naturais

para o controle da erosão; o plantio de grama e bambu ao redor das *wetlands*; a recuperação da vegetação em áreas de encosta; a distribuição de fogões aprimorados, para evitar o uso de combustíveis derivados da madeira; e a promoção de práticas agrícolas sustentáveis e de outras formas de geração de renda, tais como a apicultura. (HOVE, H.; PARRY, J., 2011, p. 2-9).

A combinação das intervenções repercutiu no retorno da capacidade operacional plena da estação hidrelétrica, além da restauração das zonas úmidas, que trouxe novas alternativas de subsistência, como o turismo e a pesca, antes inviáveis devido à degradação do ecossistema. Assim, o habitat pôde se tornar mais resiliente às mudanças climáticas, adaptando-se melhor às variações na taxa de precipitação.

Na Inglaterra, foi desenvolvido um projeto de restauração, intitulado “*The Great Fen*”, com o objetivo de criar 37 km<sup>2</sup> de novas *wetlands*, ao redor de duas reservas naturais nacionais, a *Woodwalton Fen*, designada como um Sítio Ramsar de importância internacional, e a *Holme Fen*. De acordo com *Great Fen* (2016), desde o século XVII, mais de 99% destes habitats foram danificados, principalmente pela drenagem de água para a agricultura, resultando no desaparecimento de muitas espécies raras de plantas e animais. Apesar de terem se tornado áreas protegidas, estes fragmentos são muito pequenos e isolados para suportar, de forma eficaz, a vida selvagem que ocupa o entorno das *wetlands*.

Através da compra e da restauração de terras agrícolas, o programa pretende transformar a paisagem enfraquecida, unificando e ampliando as zonas úmidas da região, para beneficiar a população e a biodiversidade. O projeto pressupõe a integração entre práticas de conservação da natureza com ações que visem a geração de renda pela sociedade, desempenhando assim um papel estratégico na redução de vulnerabilidades, especialmente no que diz respeito à proteção contra enchentes. Por meio de parcerias entre diversas organizações, incluindo os governos locais e a agência inglesa de meio ambiente, iniciou-se o plano em 2001, que se estende pelos 50 anos seguintes. Desde a sua abertura, o projeto mobilizou mais de 100 voluntários e adquiriu cerca de 55,5% dos terrenos necessários, executando os primeiros passos para o estabelecimento de novas *wetlands*, em conjunto com os agricultores locais. (GREAT FEN, 2016).

Na Etiópia, existe um programa nacional que reúne diversas ações de adaptação às mudanças climáticas, incluindo a conservação, a gestão e o uso sustentável das áreas úmidas, estimadas em 51.496 km<sup>2</sup>, além do gerenciamento de pastagens naturais e da promoção de práticas de silvicultura e agroflorestas (UNFCCC, 2010, p. 4).

O plano foi iniciado em 2007, com o auxílio do Programa de Desenvolvimento das Nações Unidas (UNDP) e do Fundo Global para o Meio Ambiente (GEF), tendo sido

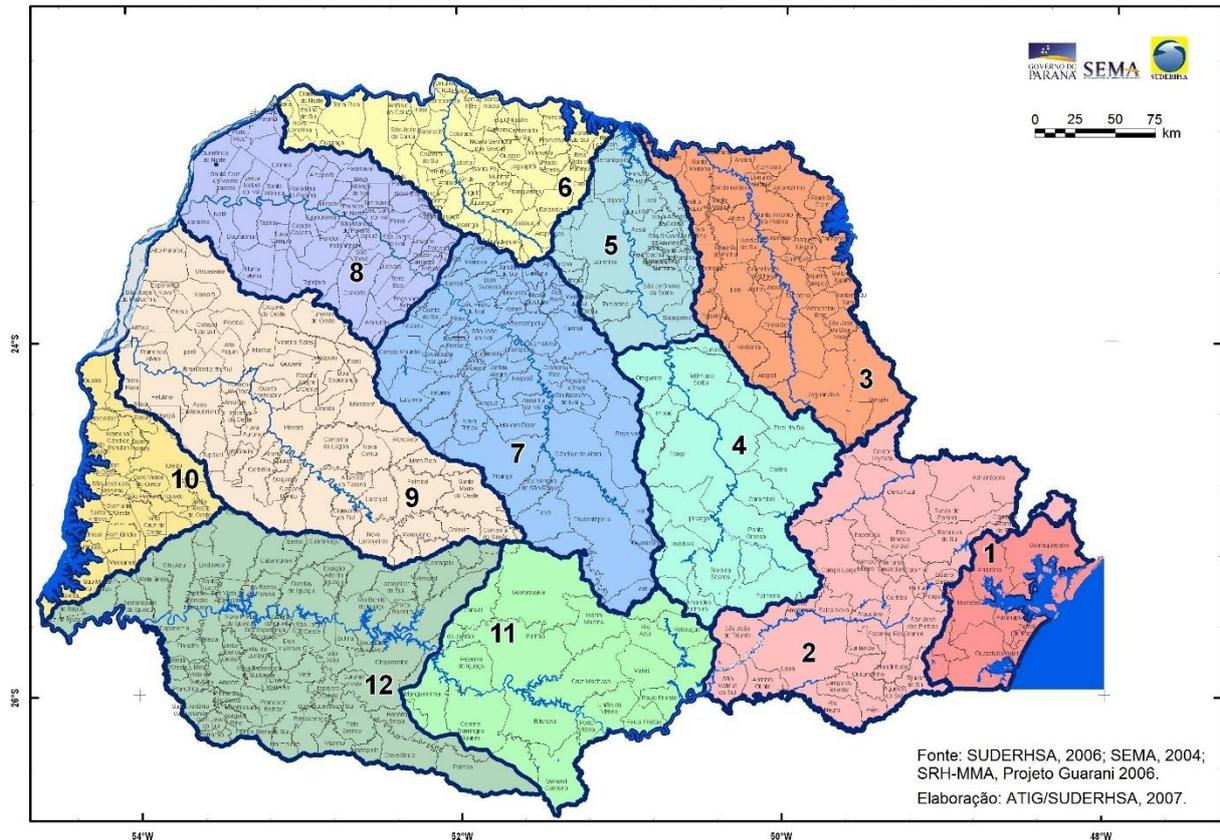
substituído por uma estratégia mais abrangente, no ano de 2010. Nesta nova proposta, o governo etíope se compromete com o cumprimento das ações de mitigação até o ano de 2020. Em se tratando de *wetlands*, o foco do projeto situa-se sobre as áreas rurais, principalmente aquelas que necessitam de medidas urgentes para combater a desertificação e outros efeitos da seca. Nesse sentido, a gestão das zonas úmidas poderia melhorar a capacidade de armazenamento de água subterrânea, aumentando a resiliência da sociedade contra os impactos climáticos. Para tanto, recomenda-se uma organização em base comunitária, voltada para a integração de agricultores, pastores, administradores locais e organizações não governamentais (ONGs), em torno de um único objetivo: reduzir as vulnerabilidades.

Apesar de já terem sido desenvolvidos diversos projetos ao redor do mundo que incorporam o conceito de Adaptação baseada em Ecossistemas, no Brasil este número ainda é incipiente, de acordo com a Fundação Grupo Boticário de Proteção à Natureza (2015, p. 18). No entanto, a organização reconhece que as poucas experiências encontradas demonstram a existência de um potencial a ser explorado, podendo este ser um reflexo de três fatores observados: a grande riqueza e a diversidade biológica do país; a tradição de envolvimento das comunidades humanas; e as previsões de impactos feitas pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) e pelo Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC) para os próximos anos na região (O BOTICÁRIO, 2015, p. 18). Tendo isso em vista, acredita-se que o Brasil apresenta uma tendência de crescimento das iniciativas que contemplam critérios de AbE, associada à uma maior difusão de conhecimentos que tem ocorrido nesta temática.

### 3.3 BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO IGUAÇU - PR

O Estado do Paraná, no qual se insere a bacia do Alto Iguaçu, está dividido em 12 Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos, instituídas pela Resolução nº 49 do Conselho Estadual de Recursos Hídricos - CERH/PR, de 20 de dezembro de 2006. Esta subdivisão foi adotada com vistas à gestão dos recursos hídricos, em conjunto com critérios fisiográficos, características socioeconômicas e de uso e ocupação do solo (SEMA, 2010, p. 13). Na Figura 2, é possível observar a bacia do Alto Iguaçu, agrupada com os afluentes do rio Negro e do rio Ribeira, e as demais Unidades Hidrográficas paranaenses.

FIGURA 2 - UNIDADES HIDROGRÁFICAS DO ESTADO DO PARANÁ



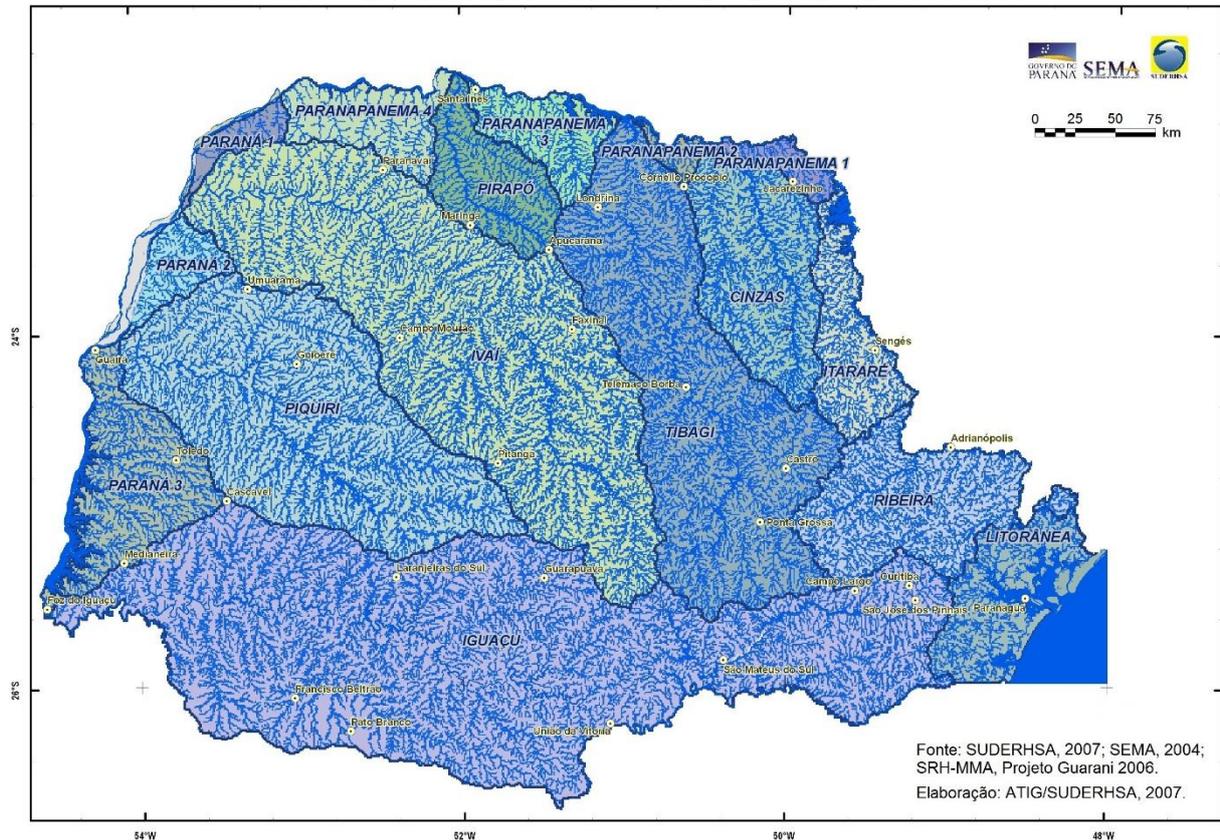
## UNIDADES HIDROGRÁFICAS:

- |   |                                |
|---|--------------------------------|
| 1 - Litorânea                                       | 7 - Alto Ivai                  |
| 2 - Alto Iguaçu, afluentes dos rios Negro e Ribeira | 8 - Baixo Ivai, Paraná 1       |
| 3 - Itararé, Cinzas, Paranapanema 1, Paranapanema 2 | 9 - Piquiri, Paraná 2          |
| 4 - Alto Tibagi                                     | 10 - Paraná 3                  |
| 5 - Baixo Tibagi                                    | 11 - Afluentes do Médio Iguaçu |
| 6 - Pirapó, Paranapanema 3, Paranapanema 4          | 12 - Afluentes do Baixo Iguaçu |

FONTE: Adaptado de Instituto das Águas do Paraná - ÁGUASPARANÁ (2007).

Partindo do conceito de região hidrográfica como aquela limitada por um divisor de águas, o Estado do Paraná foi dividido em 16 Bacias Hidrográficas pela Resolução nº 24 da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos - SEMA, de 06 de junho de 2006, conforme ilustrado na Figura 3.

FIGURA 3 - BACIAS HIDROGRÁFICAS DO ESTADO DO PARANÁ



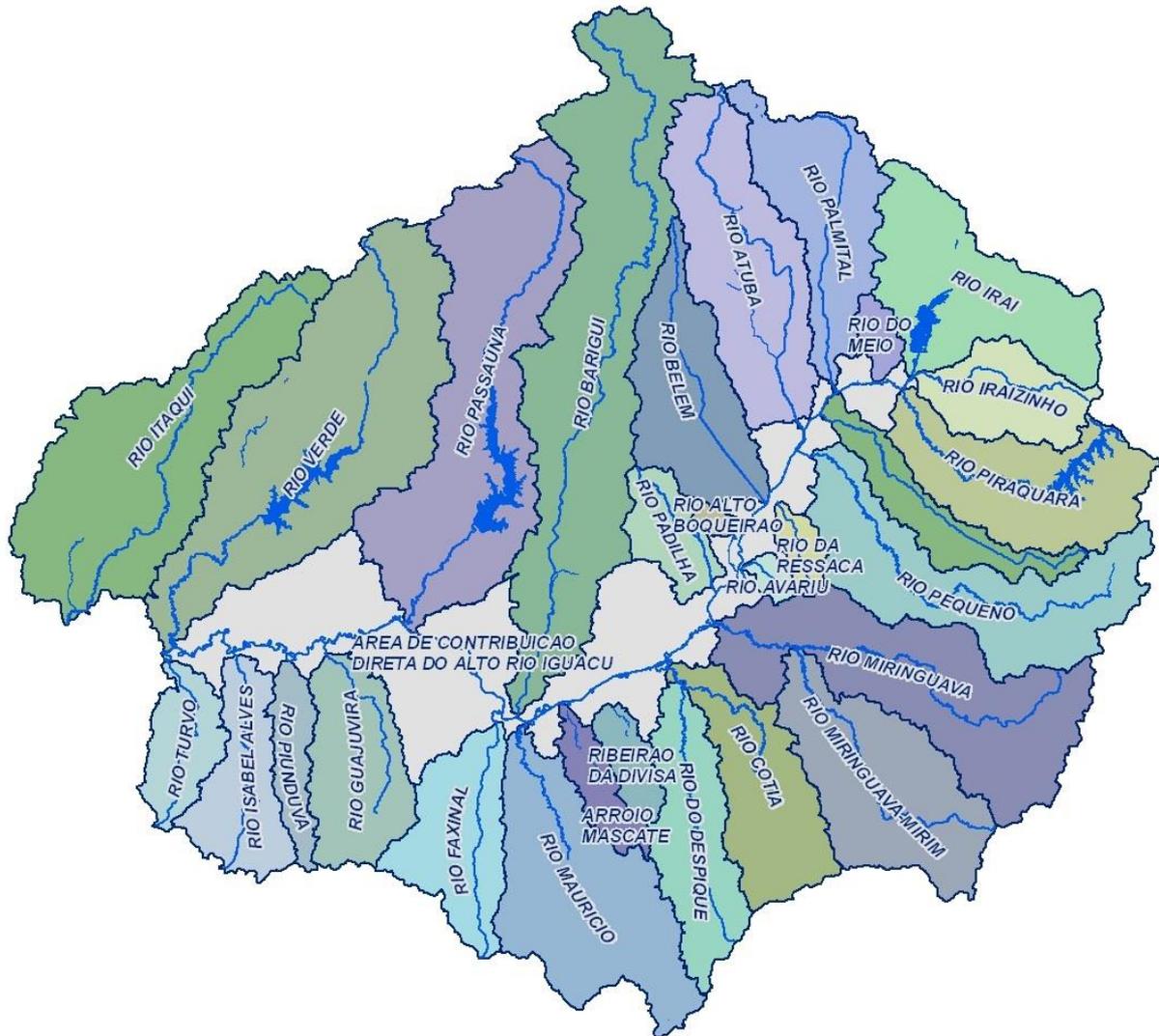
## BACIAS HIDROGRÁFICAS:

- |  |                             |  |                             |
|--|-----------------------------|--|-----------------------------|
|  | Bacia do Rio das Cinzas     |  | Bacia do Rio Paranapanema 4 |
|  | Bacia do Rio Iguaçu         |  | Bacia do Rio Paraná 1       |
|  | Bacia do Rio Itararé        |  | Bacia do Rio Paraná 2       |
|  | Bacia do Rio Ivaí           |  | Bacia do Rio Paraná 3       |
|  | Bacia Litorânea             |  | Bacia do Rio Piquiri        |
|  | Bacia do Rio Paranapanema 1 |  | Bacia do Rio Pirapó         |
|  | Bacia do Rio Paranapanema 2 |  | Bacia do Rio Ribeira        |
|  | Bacia do Rio Paranapanema 3 |  | Bacia do Rio Tibagi         |

FONTE: Adaptado de Instituto das Águas do Paraná - ÁGUASPARANÁ (2007).

Segundo a Lei nº 9433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, entende-se bacia hidrográfica como a unidade territorial básica de planejamento e gestão. Ainda, é possível delimitar sub-bacias a partir dos principais afluentes de um rio, a exemplo da bacia do Alto Iguaçu, composta por 29 sub-bacias e pela área de contribuição direta do rio Iguaçu, indicadas na Figura 4.

FIGURA 4 - SUB-BACIAS DO ALTO IGUAÇU



FONTE: Instituto das Águas do Paraná - ÁGUASPARANÁ (2000).

No século XVI, o território correspondente à bacia do rio Iguaçu era povoado por índios Kaingangue e Guarani, da onde surgiu o nome Iguaçu para o rio principal, que significa “água grande” ou “muita água”. No século seguinte, os portugueses, em busca de ouro e escravos, passaram a dominar a região, dando início ao processo de colonização. Neste contexto, surgiram os primeiros moradores e as práticas de comércio, diretamente relacionadas com a passagem dos tropeiros, principalmente na porção do Alto Iguaçu, na qual Curitiba está inserida. Em 1882, se iniciou a navegação no rio Iguaçu, impulsionando o desenvolvimento local, o povoamento de suas margens e a comercialização de produtos. Porém, após 1903, o rio Iguaçu deixou de ser navegável, passando a ser explorado por hidrelétricas, contribuindo para o reconhecimento do Estado do Paraná como um importante polo energético nacional (SEMA, 2010, p.30).

A bacia do rio Iguaçu está subdividida em três Unidades Hidrográficas de Gestão de Recursos Hídricos – Baixo, Médio e Alto Iguaçu –, conforme estabelecido pela

Resolução nº 49/2006 (CERH/PR). Na divisa de Curitiba e Pinhais, ocorre o encontro dos rios Iraí e Atuba, formando o rio Iguaçu, que apresenta extensão aproximada de 1320 km. A bacia do rio Iguaçu está distribuída por cerca de 70.800 km<sup>2</sup> ao longo do Brasil e da Argentina, ocupando em torno de 28% do Estado do Paraná, representado por 54.820,40 km<sup>2</sup> (SEMA, 2010, p.30).

### 3.4 LEGISLAÇÕES PERTINENTES

Sob uma perspectiva voltada à preservação e ao manejo adequado das áreas úmidas, foram identificados alguns contornos normativos que merecem destaque, sobretudo para as *wetlands* inseridas na bacia do Alto Iguaçu. Inicialmente, deve-se considerar o fato de que o Brasil, como membro signatário da Convenção sobre Diversidade Biológica desde 1992, firmou um compromisso de desenvolver estratégias capazes de garantir a conservação e o uso sustentável da biodiversidade, entre outros fatores.

Tendo isso em vista, o Governo Federal buscou desenvolver instrumentos norteadores, para que as decisões políticas pudessem ser rapidamente convertidas em resultados concretos, por meio de uma aplicação eficiente dos recursos financeiros disponíveis. Assim, foi criada a primeira “Avaliação e Identificação das Áreas e Ações Prioritárias para a Conservação dos Biomas Brasileiros” pelo Ministério do Meio Ambiente, entre os anos de 1998 e 2000. Este projeto se propôs a delimitar áreas prioritárias de acordo com três categorias – prioridade de conservação; importância biológica e urgência de ação –, além de recomendar atividades estratégicas para cada polígono, com base em uma caracterização de suas ameaças e oportunidades.

As regras para identificação das áreas foram definidas pelo Decreto nº 5.092, de 21 de maio de 2004, e pela Deliberação nº 39, de 14 de dezembro de 2005, da Comissão Nacional de Biodiversidade - CONABIO. A partir destas normas, utilizaram-se os níveis “extremamente alta, muito alta e alta” para definir a importância e a prioridade de cada uma das 900 áreas de conservação que foram reconhecidas pela Portaria nº 126, de 27 de maio de 2004.

Devido à dinâmica das condições ambientais e dos avanços tecnológicos, a legislação prevê uma revisão periódica do documento, em prazo não superior a dez anos. Por isso, dois novos processos já foram conduzidos pelo Ministério do Meio Ambiente, conforme apresentado pelas Portarias nº 9, de 23 de janeiro de 2007, e nº 223, de 21 de junho de 2016. Entretanto, a atualização mais recente ainda se encontra em fase de desenvolvimento, tendo sido finalizada apenas para os biomas Cerrado, Pantanal e

Caatinga. Com vistas ao compartilhamento gratuito de informações, o Ministério do Meio Ambiente disponibilizou todos os arquivos vetoriais contendo a delimitação mais recente das áreas prioritárias, em seu portal virtual.

Segundo este projeto, as várzeas do rio Iguaçu, próprias da Mata Atlântica, possuem importância biológica e prioridade muito altas, tendo como principais ameaças locais as atividades de mineração, a extração de recursos naturais, a presença de espécies invasoras, as práticas de caça e a expansão agropecuária. Tendo isso em vista, foram elencadas 11 ações prioritárias, das quais as seis primeiras já foram iniciadas ou concretizadas (MMA, 2007, p. 87):

- iii. criação de Unidades de Conservação de Proteção Integral;
- iv. realização de inventário ambiental;
- v. recuperação de áreas degradadas;
- vi. criação de mosaicos e corredores ecológicos;
- vii. fiscalização;
- viii. desenvolvimento de educação ambiental;
- ix. recuperação de espécies;
- x. manejo adequado;
- xi. fomento à atividades econômicas sustentáveis;
- xii. execução de estudos socioantropológicos;
- xiii. e execução de estudos do meio físico.

No âmbito do Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza - SNUC, regulamentado pela Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000, existem duas grandes categorias: Unidades de Proteção Integral e Unidades de Uso Sustentável. Ambas as áreas têm como objetivo central a preservação da biodiversidade, porém, na primeira é permitido apenas o uso indireto dos recursos naturais, isto é, aquele que não envolve o consumo, a coleta, o dano ou a destruição do patrimônio, enquanto que na segunda é possível realizar a exploração do ambiente de maneira sustentável, ou seja, garantindo a perenidade dos recursos renováveis e dos processos ecológicos, de forma socialmente justa e economicamente viável (BRASIL, 2000).

Com base nas peculiaridades de cada unidade de conservação, é possível subdividi-las em novas classes, sendo cinco para as de Proteção Integral e sete para as de uso sustentável. Desta forma, têm-se os seguintes subgrupos: Refúgio de Vida Silvestre, Estação Ecológica, Parque Nacional, Reserva Biológica e Monumento Natural; e Reserva Extrativista, Área de Relevante Interesse Ecológico, Reserva de Fauna, Floresta Nacional,

Área de Proteção Ambiental, Reserva de Desenvolvimento Sustentável e Reserva Particular do Patrimônio Natural (BRASIL, 2000).

Em 2006, o Governo do Estado do Paraná desenvolveu o Plano de Desenvolvimento Integrado da Região Metropolitana de Curitiba - PDI/RMC, contendo propostas de ordenamento territorial e de um novo arranjo institucional, alicerçadas em princípios de solidariedade, sustentabilidade, parcerias, competitividade e participação pública (COMEC, 2015, p. 15). Este projeto foi conduzido sobre duas linhas estratégicas de atuação: proteção, conservação e preservação do meio ambiente; e ordenamento da expansão e do crescimento urbano (COMEC, 2006, p. 188-191). Para cada estratégia, foram identificadas diversas ações necessárias à concretização das diretrizes pré-estabelecidas, nas quais se enfatiza a instituição de um instrumento legal de proteção das várzeas do rio Iguaçu. Então, através do Decreto nº 3.742, de 12 de novembro de 2008, foi instituída a Área de Interesse Especial Regional do Iguaçu - AIERI, indicada na Figura 5.



FONTE: Adaptado de Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba - COMEC, 2008, p. 4.

Além de garantir a sua proteção, a delimitação desta área foi planejada com o intuito de melhorar e recuperar a qualidade ambiental e paisagística da região, propiciar a conservação dos biomas, orientar a ocupação local, prevenir a degradação de solos, proporcionar espaços turísticos, recreativos e educativos e ainda minimizar os riscos associados a inundações, através do serviço ecossistêmico de controle de cheias, prestado

pelas zonas úmidas (PARANÁ, 2008). Tais objetivos se fundamentam na relevância destes ecossistemas, sobretudo no que diz respeito à sua atuação como um corredor de biodiversidade regional, que se traduz no principal canal de drenagem do território urbano metropolitano (COMEC, 2006, p. 159).

No período de 2013 e 2014, foram desenvolvidos diversos projetos de parques metropolitanos, como uma forma de criar novos espaços de lazer para a população e aprimorar as condições de drenagem urbana. A Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba - COMEC foi a responsável pela elaboração destes projetos e de um Plano Diretor da Área de Interesse Especial Regional do Iguaçu, todos inseridos no Programa de Aceleração do Crescimento - PAC 2, do Ministério das Cidades (COMEC, 2015). Apesar de já ter sido concluído, o Plano Diretor da AIERI ainda precisa ser discutido entre as instâncias competentes para ser implementado pelos municípios (COMEC, 2015, p. 9). De uma forma geral, cada um destes projetos está plenamente alinhado com as diretrizes do Plano de Desenvolvimento Integrado de Curitiba.

### 3.5 SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG)

Um Sistema de Informação Geográfica (SIG) ou *Geographic Information System* (GIS), em inglês, pode ser entendido como o conjunto de ferramentas utilizadas para coletar, armazenar, processar, analisar e disponibilizar informações georreferenciadas, isto é, identificadas por uma combinação de coordenadas que caracterizam uma posição na superfície terrestre, em um determinado sistema de referência. Este conjunto de ferramentas é formado por diversos programas (*softwares*), equipamentos (*hardwares*), métodos, dados, pessoas e instituições, atuando de forma integrada.

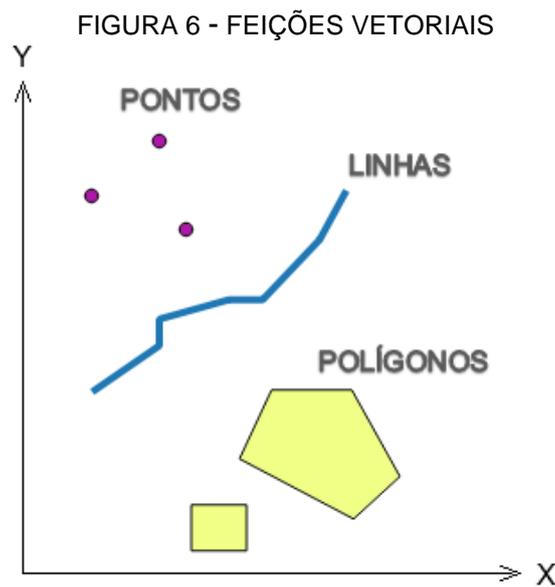
Por meio dos SIGs, os usuários se tornam capazes de gerenciar e monitorar uma extensa gama de informações com maior agilidade, eficiência e segurança, o que facilita o planejamento e a tomada de decisões relacionadas ao espaço geográfico.

Diante disso, pode-se dizer que existem inúmeras aplicações do SIG, tais como: cadastro de imóveis rurais; prevenção de desastres naturais; estudos epidemiológicos; agricultura de precisão; mapeamento de crimes e acidentes de trânsito; gestão da infraestrutura viária; planejamento urbano; monitoramento de abalos sísmicos e focos de incêndio; manutenção e operação de redes de água e esgoto; zoneamento ecológico-econômico; avaliação de potenciais turísticos; cartografia social; análise espacial de demanda; entre outros.

### 3.5.1 Dados geográficos

Uma informação geográfica ou espacial, é formada, obrigatoriamente, por uma componente espacial, ou seja, um conjunto de coordenadas que caracteriza uma determinada localização na superfície terrestre. A representação dos dados geográficos se divide em duas classes ou modelos principais: vetorial e matricial (*raster*). Além disso, o tradicional formato tabular também é utilizado para descrever informações que se associam a uma posição no espaço geográfico.

No formato vetorial, os dados geográficos são representados por pontos, linhas ou polígonos, que contêm um conjunto de coordenadas relacionado com sua posição, forma e dimensão no globo. A precisão das coordenadas de cada vetor é responsável pela resolução do formato vetorial, de modo que, quanto mais precisas forem as coordenadas, maior é a resolução do modelo. Na Figura 6, estão ilustradas as três feições geométricas que podem ser armazenadas em uma estrutura vetorial.



FONTE: O autor (2016).

Com base na Figura 6, é possível notar que cada feição vetorial apresenta características distintas e, conseqüentemente, aplicações diversas. Ainda, verifica-se que os pontos são formados por um único par de coordenadas (x, y); as linhas são definidas por segmentos de retas conectando uma série de pontos; e os polígonos são constituídos por áreas, isto é, um conjunto fechado de linhas, de modo que a posição do último ponto deve ser igual à do primeiro.

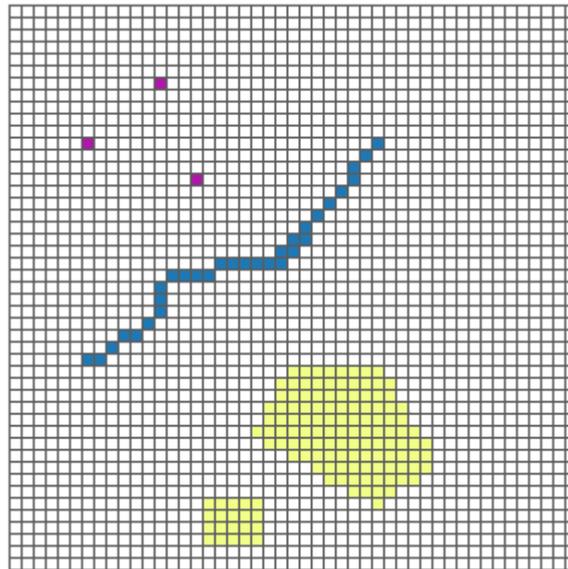
Considerando que a representação dos dados geográficos busca se aproximar o máximo possível da realidade, deve-se examinar quais feições apresentam um melhor

ajuste com cada objeto disposto no espaço geográfico. Por exemplo, para representar nascentes ou poços, geralmente são utilizados pontos. Já as linhas estão frequentemente associadas a estradas, cursos de rios estreitos, redes de esgoto e curvas de nível. Por fim, os polígonos são comumente empregados para descrever lotes e corpos d'água extensos.

O formato *raster*, por sua vez, é uma estrutura matricial que utiliza uma grade regular formada por pixels, no caso de imagens, ou células. Nesta representação, índices de linha e coluna referenciam as células ou os pixels, nos quais se atribuem valores numéricos que definem uma área no terreno e se associam a alguma característica ou categoria do elemento, indicada por um atributo no banco de dados. Estes valores devem estar contidos em um certo intervalo numérico, que depende das classes definidas em um mapa temático ou da profundidade de bits. Ainda, sabe-se que o número de cores disponíveis em uma imagem de  $x$ -bits é dado por  $2^x$ , uma vez que as cores podem ser representadas em termos de dois valores (0 e 1), de acordo com o sistema binário. Assim, em uma imagem 8 bits existem  $2^8$  ou 256 formas de combinações para especificar uma determinada cor. Portanto, imagens com maiores profundidades de bits são capazes de reproduzir mais tons, já que existem mais combinações possíveis de cor.

A resolução deste formato está diretamente relacionada com o tamanho das células ou pixels, uma vez que estes itens representam uma área real. O satélite LANDSAT, por exemplo, disponibiliza imagens com resolução espacial de 30 metros, ou seja, com um pixel quadrado de 30 m x 30 m, que descreve a menor área real passível de representação, dada por 900 m<sup>2</sup>. Portanto, quando se produz um arquivo matricial a partir de pontos, linhas e polígonos que ilustram a realidade, gera-se uma imagem semelhante à Figura 7, através de um processo denominado *rasterização*.

FIGURA 7 - FEIÇÕES MATRICIAIS



FONTE: O autor (2016).

Uma observação pertinente diz respeito à possibilidade de realização do procedimento inverso, conhecido como vetorização, no qual se converte um *raster* em um arquivo vetorial. No entanto, deve-se atentar para a resolução do modelo gerado em ambas as transformações, pois podem ocorrer distorções e perdas na precisão dos dados, associadas à qualidade das informações iniciais e ao próprio processo de conversão.

Tanto o método vetorial quanto o matricial apresentam prós e contras na representação de informações geográficas. Como vantagens do formato vetorial, destacam-se quatro mais relevantes: eficiência para simbolizar dados dispersos; facilidade de combinação com atributos do banco de dados; menor espaço de armazenamento, devido à estruturação dos dados ser mais compacta, por se basear em coordenadas e poder conter espaços vazios; e possibilidade de estabelecer relações de topologia. As relações topológicas são importantes porque permitem avaliar a proximidade e as interações espaciais existentes no próprio elemento e em sua vizinhança, isto é, verificar se ocorrem conectividades, adjacências, contingências e/ou proximidades entre os objetos delineados.

Porém, pode-se citar as três principais desvantagens do formato vetorial: alto custo de processamento, pelo fato de a estrutura dos dados ser complexa; dificuldade na modelagem de incertezas, associada à erros geométricos; e necessidade de edição dos dados, em muitas situações.

A estrutura matricial, por sua vez, apresenta quatro vantagens significativas, a saber: simplicidade para representar dados densos, nos quais ocorre uma entrada para cada registro no banco de dados; facilidade de sobreposição, simulação e modelagem,

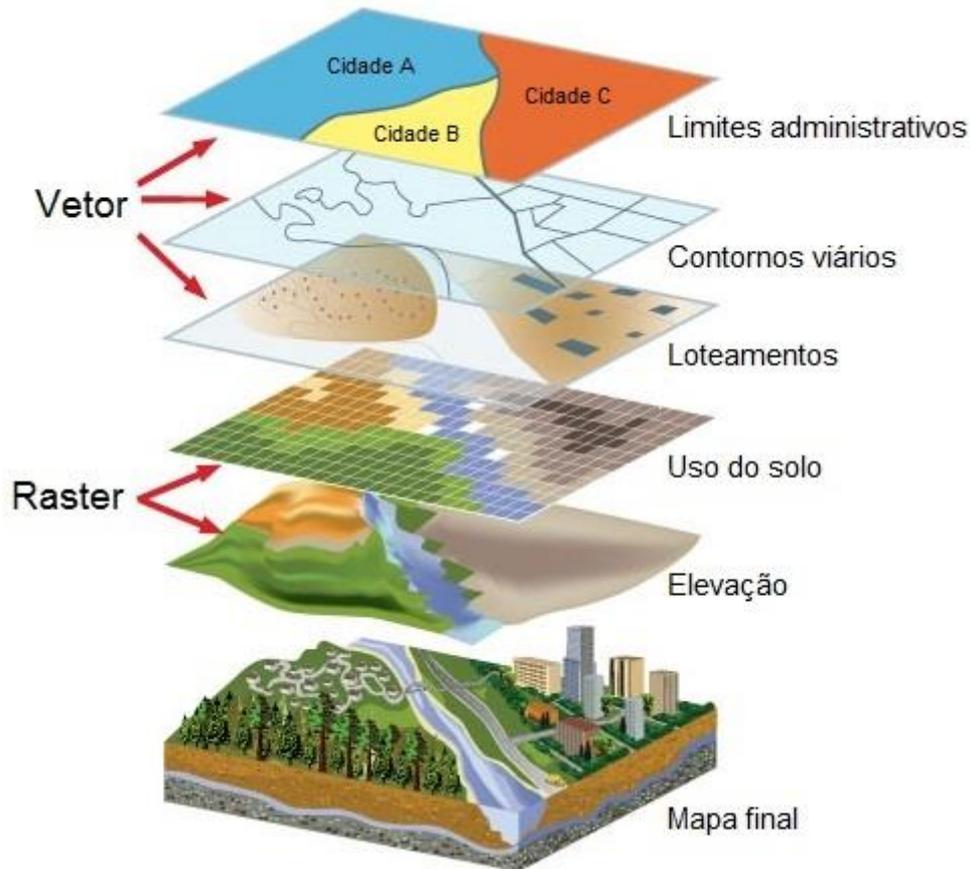
relacionada com operações espaciais, como a álgebra de mapas; e possibilidade de visualizar e manipular imagens em seu formato original.

Em contrapartida, encontram-se três desvantagens expressivas da representação matricial: dificuldade de lidar com dados esparsos; maior volume de dados, o que exige um amplo espaço de armazenamento; e complexidade para estabelecer relações espaciais entre os elementos projetados.

Considerando os pontos positivos e negativos de cada modelo de representação de dados geográficos, deve-se buscar a melhor representação a ser aplicada em cada situação, com base nos objetivos do estudo. Esta etapa é fundamental no desenvolvimento de um Sistema de Informação Geográfica, pois a estrutura de dados escolhida influencia substancialmente no modo como os elementos e seus respectivos atributos serão visualizados, analisados e manipulados.

Em geral, o modelo *raster* é utilizado para armazenar e analisar imagens obtidas por sensoriamento remoto, produzidas a partir de um sensor que detecta e registra a radiação eletromagnética emitida ou refletida pela superfície terrestre. Entretanto, é necessário aplicar técnicas de processamento digital e interpretação visual para identificar e classificar os elementos geográficos existentes na imagem. (BRASIL, 2014, p. 12). Já o formato vetorial, é frequentemente empregado quando se deseja identificar objetos com uma boa precisão, uma vez que as bordas da feição não são distorcidas. Porém, em diversos projetos, é necessário integrar ambos os modelos para obtenção de resultados satisfatórios. Na Figura 8, está ilustrado um exemplo de representação da realidade em um modelo de SIG, realizado por meio da sobreposição de camadas vetoriais e matriciais.

FIGURA 8 - SOBREPOSIÇÃO DE CAMADAS EM UM SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA



FONTE: Adaptado de *Information Services Department - County Of San Bernardino* (2012).

### 3.5.2 Sensoriamento Remoto

O termo Sensoriamento Remoto pode ser definido como uma tecnologia capaz de coletar um grande volume de dados espaciais por meio de dispositivos, conhecidos como sensores, posicionados sem que haja contato físico com o objeto, a área ou o evento a ser estudado. Estes dados, por sua vez, podem ser interpretados e analisados, de modo que se possa extrair inúmeras informações relevantes ao monitoramento dos fenômenos que ocorrem na superfície terrestre e na atmosfera.

Em geral, os sensores estão acoplados em satélites que orbitam a Terra, permitindo uma observação global dos recursos terrestres. Entretanto, estes dispositivos também podem ser utilizados sob médias e baixas altitudes, ou até mesmo no solo, dependendo do detalhamento das informações desejado.

O princípio que rege o imageamento de alvos por sensores remotos está diretamente relacionado com a detecção da radiação eletromagnética que é refletida por um objeto. A geração de imagens com base neste processo só é possível porque a superfície dos objetos consegue interagir, de diferentes formas, com a radiação eletromagnética que incide na superfície terrestre, devido às diversas composições físico-

químicas dos materiais. Em síntese, o sistema de imageamento da superfície terrestre ocorre através da captura simultânea de várias bandas espectrais, isto é, das faixas específicas do espectro eletromagnético para quais os sensores remotos estão calibrados. Desta forma, as imagens adquiridas pelos sensores abrangem uma ou mais bandas espectrais, podendo ser combinadas com o intuito de evidenciar objetos de interesse. No caso do satélite LANDSAT 8, são capturadas 11 imagens, cada qual representando uma banda espectral distinta e, portanto, um intervalo de comprimento de onda pré-determinado, conforme indicado na Tabela 1.

TABELA 1 - BANDAS ESPECTRAIS DO SATÉLITE LANDSAT 8

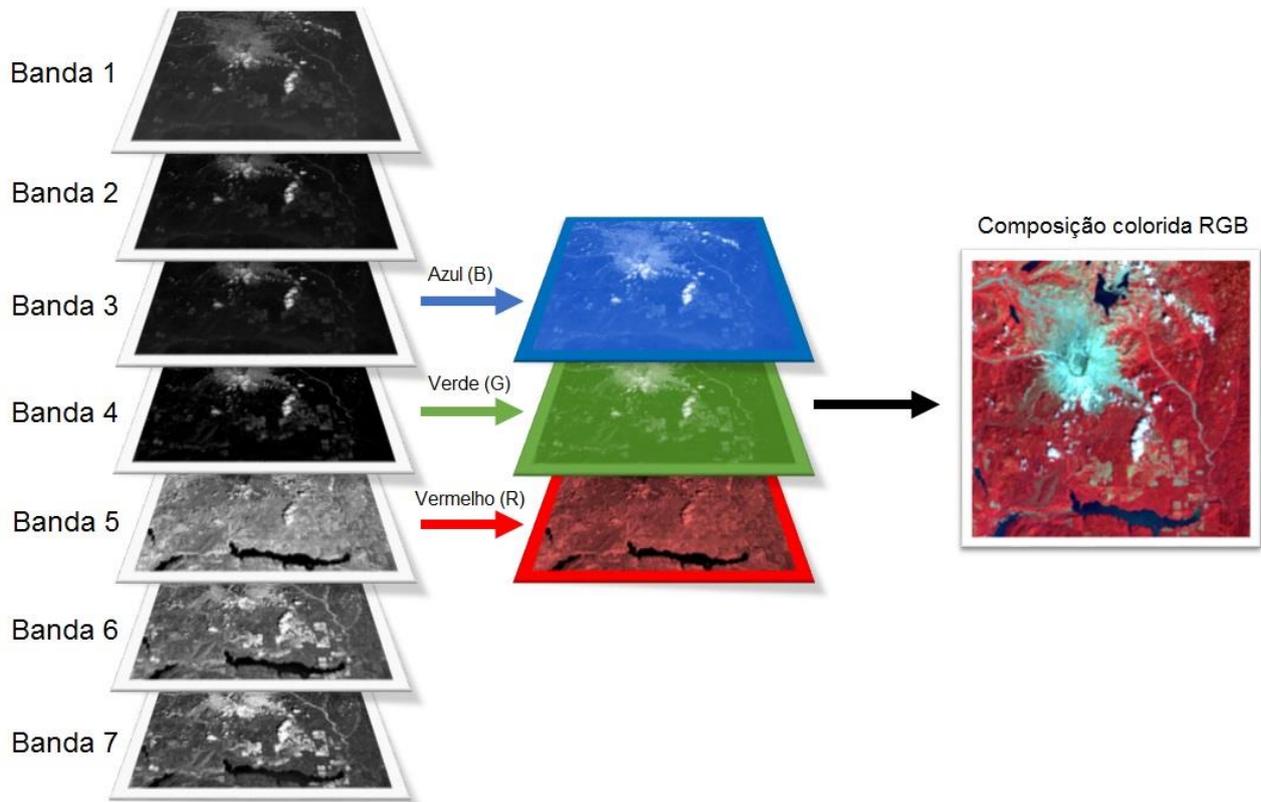
| BANDA ESPECTRAL                            | COMPRIMENTOS DE ONDA ( $\mu\text{m}$ ) | RESOLUÇÃO ESPACIAL (m) |
|--|--|------------------------|
| 1 - Costeira/Aerossol                      | 0,43 – 0,45                            | 30                     |
| 2 – Azul                                   | 0,45 – 0,51                            | 30                     |
| 3 – Verde                                  | 0,53 – 0,59                            | 30                     |
| 4 – Vermelho                               | 0,64 – 0,67                            | 30                     |
| 5 - Infravermelho próximo (NIR)            | 0,85 – 0,88                            | 30                     |
| 6 - Infravermelho de ondas curtas (SWIR 1) | 1,57 – 1,65                            | 30                     |
| 7 - Infravermelho de ondas curtas (SWIR 2) | 2,11 – 2,29                            | 30                     |
| 8 – Pancromática                           | 0,50 – 0,68                            | 15                     |
| 9 – Cirrus                                 | 1,36 – 1,38                            | 30                     |
| 10 - Infravermelho termal (TIRS 1)         | 10,60 – 11,19                          | 30*                    |
| 11 - Infravermelho termal (TIRS 2)         | 11,50 – 12,51                          | 30*                    |

\* As bandas de infravermelho termal (TIRS 1 e 2) são adquiridas com uma resolução espacial de 100 metros, mas são reamostradas para 30 metros.

FONTE: Adaptado de *United States Geological Survey - USGS* (2016).

Todas as bandas multiespectrais são visualizadas, separadamente, em tons de cinza, que variam entre si. Porém, ao associar três bandas quaisquer aos canhões de cores primárias vermelho-verde-azul (RGB), é possível gerar uma imagem multiespectral com as tonalidades características do espectro visível, em um processo conhecido como “empilhamento de bandas” ou “composição colorida”, apresentado na Figura 9.

FIGURA 9 - EMPILHAMENTO DE BANDAS MULTIESPECTRAIS



FONTE: Adaptado de *Humboldt State University* (2015).

Desta forma, apesar de o empilhamento de bandas multiespectrais resultar em uma imagem colorida, as tonalidades em cada cena variam conforme a combinação realizada. Portanto, para cada associação de bandas, tem-se uma imagem colorida distinta, na qual os objetos são percebidos em cores específicas. Assim, é necessário que o usuário avalie qual a melhor combinação para identificar os alvos de seu interesse, de modo que haja um certo contraste entre os objetos, facilitando sua distinção em relação aos demais.

Basicamente, os instrumentos imageadores contidos nos sensores remotos capturam as informações da radiação eletromagnética refletida, armazenando-as no formato de Número Digital (ND). Os satélites são capazes de memorizar uma certa quantidade de valores numéricos em uma imagem, definida como a resolução radiométrica do sensor. O LANDSAT 8, por exemplo, possui uma resolução radiométrica de 16 bits, representada pelo número  $2^{16}$  no sistema binário. Portanto, cada pixel da imagem apresenta uma tonalidade específica que varia dentro de um intervalo contendo  $2^{16} = 65.536$  cores.

Geralmente, a principal fonte de radiação eletromagnética é caracterizada pelo Sol, sendo que os processos de reflexão, absorção e transmissão da luz emitida podem ocorrer concomitantemente. A forma como a radiação interage com a matéria está diretamente relacionada com a composição físico-química de cada material. O comportamento da

radiação eletromagnética pode ser explicado tanto pela teoria quântica quanto pela ondulatória, uma vez que já se demonstrou experimentalmente a existência da dualidade partícula-onda. Isto significa que a luz consegue se propagar no espaço como uma onda, porém, transportando energia, como uma partícula.

No espectro eletromagnético, estão contemplados os comprimentos de onda ou frequência de energia, sendo estas grandezas inversamente proporcionais, da radiação eletromagnética, conforme indicado na Tabela 2.

TABELA 2 - PRINCIPAIS INTERVALOS DO ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO

| DESIGNAÇÃO                    | INTERVALOS APROXIMADOS* |                     |                   |
|-------------------------------|-------------------------|---------------------|-------------------|
|                               | COMPRIMENTO DE ONDA     | FREQUÊNCIA**        |                   |
| Raios cósmicos                | 0,01 Å                  | 300 EHz             |                   |
| Raios gama                    | 0,01 Å – 0,10 Å         | 300 EHz – 30 EHz    |                   |
| Raios-X                       | 0,10 Å – 10 Å           | 30 EHz – 300 PHz    |                   |
| Ultravioleta                  | 100 nm – 380 nm         | 3,0 PHz – 790 THz   |                   |
| Visível                       | Violeta                 | 380 nm – 455 nm     | 790 THz – 660 THz |
|                               | Azul                    | 455 nm – 498 nm     | 660 THz – 600 THz |
|                               | Verde                   | 498 nm – 576 nm     | 600 THz – 520 THz |
|                               | Amarelo                 | 576 nm – 587 nm     | 520 THz – 510 THz |
|                               | Alaranjado              | 587 nm – 617 nm     | 510 THz – 490 THz |
|                               | Vermelho                | 617 nm – 760 nm     | 490 THz – 400 THz |
| Infravermelho próximo         | 760 nm – 1,20 µm        | 400 THz – 250 THz   |                   |
| Infravermelho de ondas curtas | 1,20 µm – 3,0 µm        | 250 THz – 100 THz   |                   |
| Infravermelho médio           | 3,0 µm – 5,0 µm         | 100 THz – 60 THz    |                   |
| Infravermelho termal          | 5,0 µm – 1,0 mm         | 60 THz – 0,30 THz   |                   |
| Micro-ondas                   | 1,0 mm – 1,0 m          | 0,30 THz – 0,30 GHz |                   |
| Rádio                         | 1,0 m – 10,0 km         | 0,30 GHz – 0,30 MHz |                   |

\* Unidades de medida utilizadas: Å (Ångström) =  $10^{-10}$ , n (nano) =  $10^{-9}$ , µ (micro) =  $10^{-6}$ , m (mili) =  $10^{-3}$ , quilo (k) =  $10^3$ , M (mega) =  $10^6$ , G (giga) =  $10^9$ , T (tera) =  $10^{12}$ , P (peta) =  $10^{15}$  e E (exa) =  $10^{18}$ .

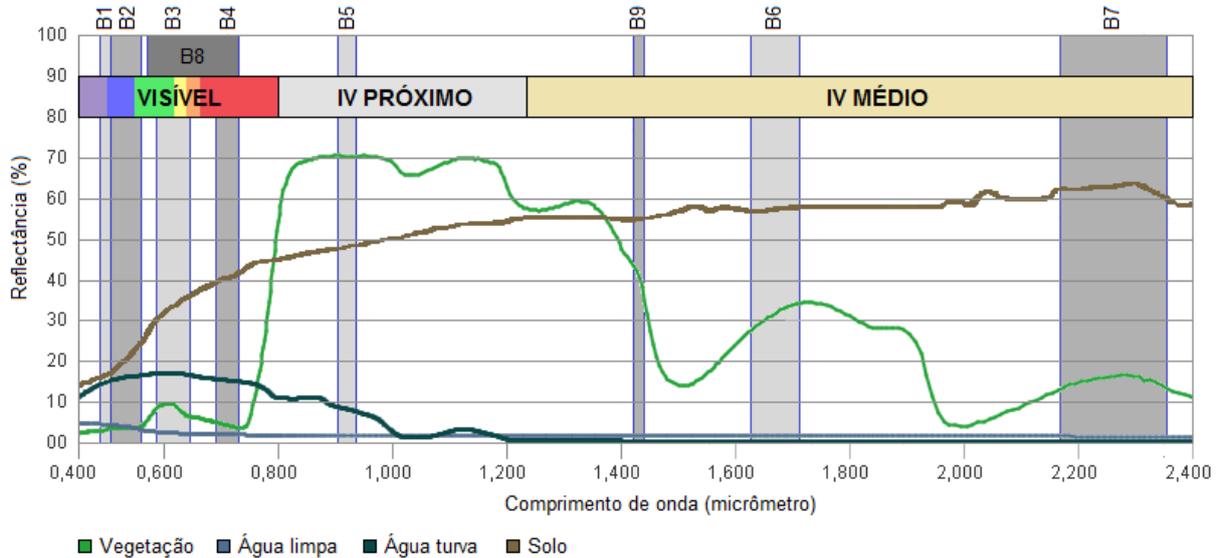
\*\* As frequências foram calculadas através da equação  $f = c/\lambda$ , sendo  $\lambda$  o comprimento de onda e  $c$  a velocidade da luz no vácuo, de  $2,99792458 \times 10^8$  m/s (NETHERCORR, Q. T.; WALTON, M. E., 2013).

FONTE: Adaptado de Meneses, P. R.; Almeida, T. (2012).

Em sensoriamento remoto, normalmente se utilizam os intervalos do espectro visível, infravermelho e micro-ondas para imageamento de alvos, devido à forma como a atmosfera interage com radiações eletromagnéticas sob estes comprimentos de onda.

Na Figura 10, estão indicadas as curvas típicas de reflectância espectral da vegetação, do solo e da água limpa e turva, associadas com as faixas de comprimento de onda correspondentes às bandas do sensor acoplado ao LANDSAT 8 OLI.

FIGURA 10 - CURVAS DE REFLECTÂNCIA ESPECTRAL DA VEGETAÇÃO, DO SOLO E DA ÁGUA LIMPA E TURVA ASSOCIADAS ÀS BANDAS DO SENSOR DO LANDSAT 8 OLI



FONTE: Adaptado de *United States Geological Survey - USGS* (2015).

As curvas de reflectância espectral indicam o comportamento espectral de cada elemento localizado na superfície terrestre, no que diz respeito à proporção de radiação eletromagnética refletida por este objeto em cada intervalo de comprimento de onda. A partir destas curvas, é possível visualizar e distinguir os elementos entre si, uma vez que cada alvo apresenta um comportamento típico.

Com base na Figura 10, é possível verificar que a água apresenta uma pequena reflectância para a região do infravermelho próximo (0,760  $\mu\text{m}$  – 1,2  $\mu\text{m}$ ). Este comportamento se deve ao fato de a água ser capaz de absorver grande parte das ondas situadas nesta faixa de comprimento de onda. Conseqüentemente, os corpos d'água são visualizados em tonalidades bem escuras, próximas ao preto, nas bandas espectrais de infravermelho próximo, já que os sensores remotos conseguem captar apenas a parcela de energia refletida pelos objetos. Por outro lado, pode-se aplicar o mesmo raciocínio sobre diferentes elementos terrestres, como a vegetação. Neste caso, a visualização do objeto se daria por cores claras, em bandas espectrais do infravermelho próximo, uma vez que a vegetação sadia absorve majoritariamente as ondas situadas no espectro visível, por serem úteis à realização da fotossíntese.

De uma forma geral, objetos com alta reflectância em um determinado comprimento de onda são visualizados em tons claros, nas bandas espectrais correspondentes à esta faixa de radiação. Em contrapartida, objetos com baixa reflectância são vistos em tons escuros nas bandas associadas, já que não existe muita energia refletida para ser detectada pelos sensores remotos.

Entretanto, deve-se destacar que existe uma série de fatores que modificam o comportamento espectral dos elementos. No solo, por exemplo, devem ser considerados: o conteúdo de água; a estrutura e a textura do solo, relacionada com a composição granulométrica; os ângulos de iluminação e observação pelo sensor; e a composição do solo, com relação aos minerais, óxidos de ferro e matéria orgânica. Na vegetação, os principais itens a serem considerados são: tipo, morfologia e fisiologia das folhas; conteúdo de clorofila e água; estresse; e senescência. Na água, os fatores que mais exercem influência sobre a curva de reflectância espectral são: a turbidez; a presença de algas que contenham clorofila; e a rugosidade superficial, relativa ao movimento das águas.

### 3.5.2.1 Métodos de classificação de imagens

Em síntese, a classificação de imagens de sensoriamento remoto busca identificar os elementos terrestres que estão representados em cada pixel da imagem, com base em seu comportamento espectral. Este processo é realizado por meio da associação dos valores numéricos que descrevem os pixels com um número finito de objetos reais que estão representados nesta porção da imagem, como a água, o solo ou a vegetação. Assim, cada elemento de interesse passa a definir uma classe de informação, que irá compor um mapa temático, no qual se ilustra a distribuição espacial de um dado objeto.

Os métodos de classificação de imagens de sensoriamento podem ser divididos de acordo com três critérios: o tipo de aprendizado; as suposições sobre a distribuição das classes de interesse; e o tipo de saída para cada unidade espacial. Com base nestes critérios, os métodos de classificação podem ser subdivididos da seguinte maneira: não supervisionado ou supervisionado; paramétrico ou não paramétrico; e nítido (*crisp*) ou nebuloso (*fuzzy*).

A diferença central entre o aprendizado supervisionado e o não supervisionado diz respeito às classes de interesse, uma vez que no método supervisionado as classes de informação devem ser definidas pelo usuário à priori, enquanto no método não-supervisionado, o *software* é responsável por determinar estatisticamente quais são as classes de interesse, através de algoritmos estatísticos de reconhecimento de padrões espectrais. No entanto, ambas as metodologias podem ser entendidas como uma forma de processamento digital de imagens para mapear objetos de interesse.

Já as técnicas de classificação paramétrica e não paramétrica se referem às hipóteses acerca da distribuição das classes de informação, de modo que na classificação paramétrica deve-se assumir inicialmente que as variáveis estão sob uma distribuição

normal, ao passo que na classificação não paramétrica a distribuição das classes é determinada pelos próprios dados, o que possibilita a associação de variáveis em diferentes escalas de medida e unidades.

Por fim, as classificações nítida e nebulosa diferem quanto à configuração da unidade espacial após a classificação, visto que, na técnica *crisp*, cada pixel só pode ser alocado a uma única classe de informação, sendo que, no método *fuzzy*, os pixels podem pertencer, simultaneamente a duas ou mais classes de interesse, o que torna esta classificação muito mais complexa e precisa.

Ainda, existe uma divisão quanto à unidade espacial utilizada na classificação, que pode ser um pixel ou um objeto (regiões). Na classificação com base no pixel, as áreas homogêneas que definem uma classe são encontradas através de cálculos estatísticos sobre as informações espectrais contidas em cada pixel. Já na classificação por regiões, são utilizadas, além das informações espectrais de cada pixel, a relação espacial entre a sua vizinhança. Desta forma, os pixels que apresentam características espectrais semelhantes são agrupados em uma única unidade espacial, definindo assim uma classe de interesse.

#### 3.5.2.1.1 Classificação Supervisionada de Imagens

O princípio que rege o funcionamento da Classificação Supervisionada de Imagens está fundamentado na identificação de objetos pelo próprio usuário, de modo que a operação seja realizada não apenas por um algoritmo computacional, como ocorre durante a classificação dita não-supervisionada. A performance do resultado depende, basicamente, da execução de três etapas sucessivas: (i) a definição das classes de informação; (ii) a aquisição das amostras de cada classe; (iii) e a realização de análises estatísticas que permitem a discriminação entre as classes, concluindo e validando o processo. Esta última etapa deve ser realizada por um classificador, desenvolvido com a finalidade de replicar a decisão correta de classificação no restante da imagem, isto é, nas parcelas que não foram amostradas inicialmente.

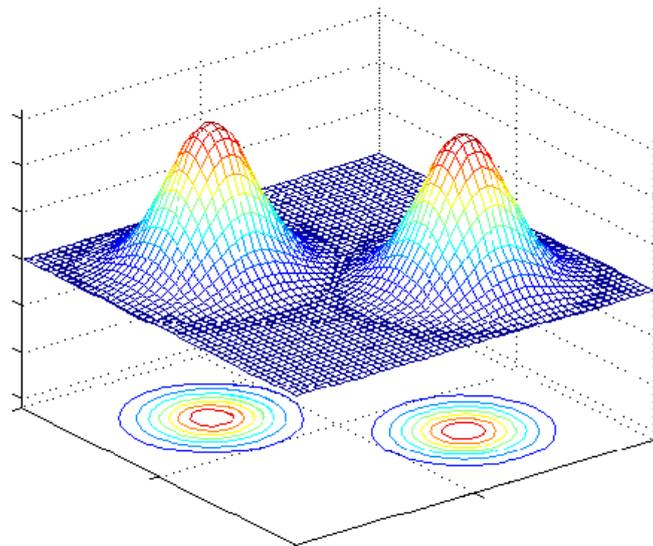
Dentro da técnica de classificação supervisionada, encontra-se o classificador de máxima verossimilhança, cuja unidade espacial é o pixel. Este algoritmo reconhece as classes espectrais de cada uma das classes de interesse da imagem com base do cálculo de parâmetros estatísticos, como o vetor de médias e a matriz covariância das classes de informação. Assim, a probabilidade de um pixel pertencer à uma determinada classe pode ser calculada estatisticamente, apresentando uma precisão que varia com a resolução da

imagem e com a quantidade e a qualidade das amostras obtidas em cada classe de informação.

Neste método, todas as classes de interesse para a pesquisa devem ser especificadas, podendo ser: área urbana, vegetação, solo e água, por exemplo. Em seguida, diversas amostras representativas e homogêneas devem ser selecionadas na imagem, informando a classe em que cada pixel ou conjunto de pixels escolhido representa. A identificação das amostras pode ser realizada com o auxílio de outras fontes de informação, como mapas, cartas topográficas ou até mesmo dados coletados em campo, de modo que, ao final do processo, se possa obter uma seleção adequada de classes de interesse, baseada não exclusivamente na imagem de sensoriamento remoto. Por fim, o método pode ser aplicado em um *software* capaz de realizar automaticamente os cálculos estatísticos necessários para classificação completa da imagem.

Ao equacionar estes parâmetros, é possível obter a probabilidade de um determinado pixel pertencer à classe considerada, com base na distribuição da superfície de Gauss gerada durante o equacionamento. Sabendo que cada classe espectral está associada à uma superfície de Gauss específica, pode-se analisar a separabilidade entre pares de classes específicos, através de cálculos de divergência transformada (Dt). O caso ideal se caracteriza pela máxima divergência transformada, dada por  $Dt = 2000$ , que indica uma separabilidade excelente, isto é, quando não ocorrem sobreposições entre as classes espectrais, conforme aponta a Figura 11.

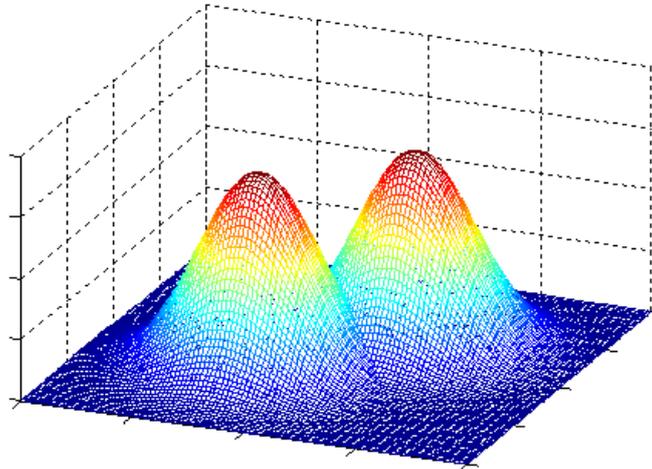
FIGURA 11 - DISTRIBUIÇÃO GAUSSIANA COM  $Dt = 2000$



FONTE: Adaptado de CELEBI, O. C. (2003).

Por outro lado, no caso em que  $Dt < 2000$ , representado na Figura 12, têm-se a sobreposição das classes espectrais, o que impossibilita que a classificação supervisionada de imagens atinja o nível máximo de precisão.

FIGURA 12 - DISTRIBUIÇÃO GAUSSIANA COM  $Dt < 2000$



FONTE: Adaptado de PUENTE, L. *et al.* (2011).

Apesar destes fatores, é possível aplicar um método de verificação para avaliar a acurácia do processo de classificação, de modo a identificar e realizar os ajustes necessários. Este método consiste em uma adequação tanto nas classes de informação quanto nas amostras selecionadas, executada com base na classificação das amostras e no cálculo de separabilidade entre as diferentes classes espectrais.

Existem *softwares* que fornecem, automaticamente, os parâmetros necessários para esta verificação, logo após a seleção das amostras. A matriz de erros ou de confusão, por exemplo, utiliza a exatidão total, calculada pela divisão entre o número de pixels classificados corretamente e o número de pixels de referência, amostrados inicialmente. Os valores adquiridos neste processo representam, então, a probabilidade de um pixel ser corretamente classificado na imagem.

Caso a acurácia obtida não esteja satisfatória, é possível identificar os erros existentes, corrigindo-os até atingir uma classificação completamente precisa, que possa sustentar a geração de um mapa temático condizente com a realidade.

### 3.5.3 Software QGIS

O QGIS é um *software* livre de Sistema de Informação Geográfica (SIG), desenvolvido voluntariamente por usuários e programadores, em torno de um esforço colaborativo, iniciado em 2002. Este projeto é conduzido pela *Open Source Geospatial*

*Foundation* (OSGeo) e está sujeito à licença GNU *General Public License* (GPL), estabelecida pela *Free Software Foundation*. Esta licença garante que o usuário possa analisar e alterar o código-fonte, se necessário, o que torna o *software* livre, ou seja, com liberdades de uso, inspeção, modificação e distribuição.

Além disso, o QGIS possui código aberto (*Open Source*), por apresentar os dez quesitos básicos estipulados pela *Open Source Initiative* (OSI), a saber: (i) distribuição livre; (ii) inclusão do código-fonte; (iii) permissão para modificações e trabalhos derivados; (iv) integridade do autor do código-fonte; (v) não discriminação contra pessoas ou grupos; (vi) não discriminação contra áreas de atuação; (vii) distribuição da licença; (viii) licença não específica à um produto; (ix) licença não restritiva a outros *softwares*; e (x) licença neutra em relação à tecnologia (OSI, 2007).

Compatível com diferentes sistemas operacionais (Linux, Unix, Macintosh OSX, Windows e Android), o QGIS suporta diversos formatos de dados *raster* e vetoriais, apresentando inúmeras funcionalidades, como a possibilidade de criar, visualizar, exportar, gerir, editar e analisar dados geoespaciais, além de criar mapas para impressão. Ainda, é possível ampliar as funções do QGIS através da instalação de complementos, nativos e externos, disponibilizados constantemente pela comunidade desenvolvedora.

#### 3.5.4 *Software* MultiSpec

O MultiSpec é um *software* livre de sensoriamento remoto, desenvolvido em 1994 pela Fundação de Pesquisa Purdue, para visualização e análise de dados contidos em imagens multiespectrais. As principais funcionalidades desta ferramenta são: importação de dados; visualização de análises multiespectrais; conversão de formatos; criação de novas bandas espectrais; e classificação de áreas.

#### 3.5.5 Satélite LANDSAT 8 OLI

O satélite LANDSAT 8 OLI, denominado *Land Remote Sensing Satellite 8 Operational Land Imager* foi lançado em 11 de fevereiro de 2013, através de uma cooperação entre a Agência Espacial Americana (NASA - *National Aeronautics and Space Administration*) e o Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS - *United States Geological Survey*).

As imagens capturadas pelo sensor OLI apresentam tamanho de 185,0 km x 185,0 km e resolução espacial de 30 metros para as bandas multiespectrais, coloridas, e de 15

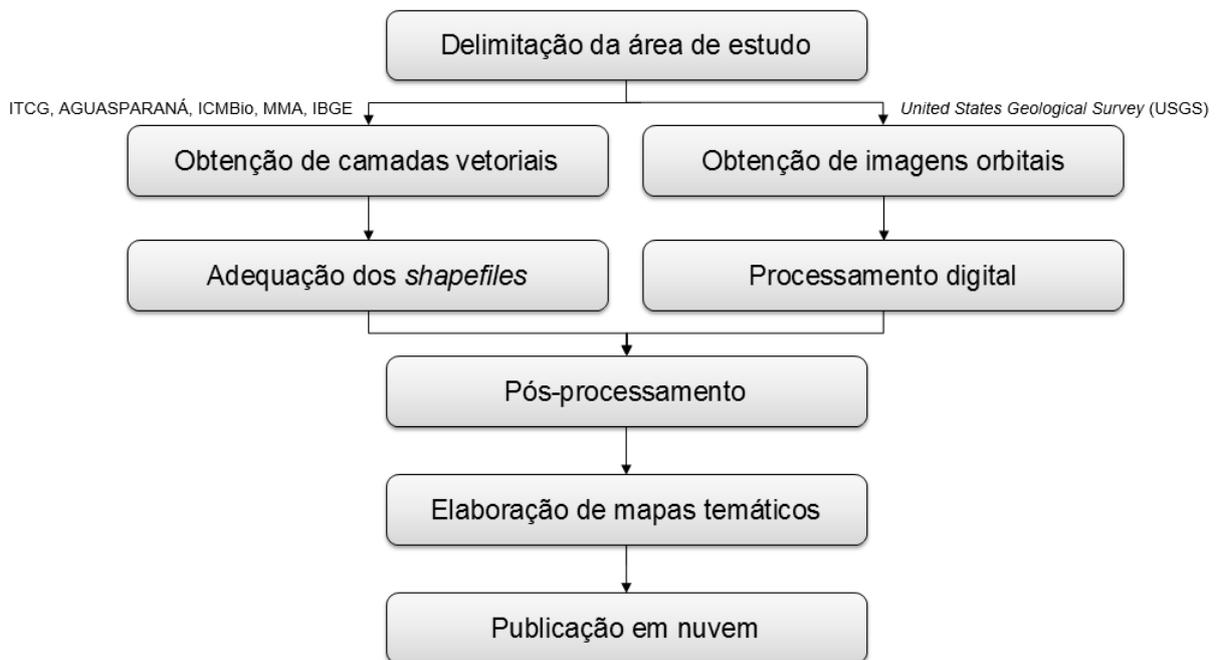
metros para a banda pancromática, em tons de cinza. Existe um processo, chamado *pan-sharpening*, que possibilita a fusão de uma imagem pancromática com outras multiespectrais, apresentando como resultado uma imagem colorida, porém, com resolução espacial de 15 metros, capaz de fornecer um maior nível de detalhes.

O sensor OLI apresenta uma resolução radiométrica de 16 bits por pixel ( $2^{16} = 65.536$  níveis de cinza), o que garante um melhor desempenho na caracterização de alvos, além da redução do efeito de sombras, quando comparado com os satélites anteriores, de 8 bits ( $2^8 = 256$  níveis de cinza). A resolução temporal do LANDSAT 8 é de aproximadamente 16 dias, uma vez que se adquire uma cena da mesma região do globo a cada 16 dias.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Para realização do mapeamento das áreas alagáveis da bacia do Alto Iguaçu, foi desenvolvida uma estratégia computacional compatível com os *softwares* livres QGIS e MultiSpec, composta por oito etapas principais, conforme delineado no fluxograma metodológico apresentado na Figura 13.

FIGURA 13 - FLUXOGRAMA METODOLÓGICO



FONTE: O autor (2016).

Inicialmente, definiu-se a bacia do Alto Iguaçu como sendo a área de estudo, de modo que todos os processos metodológicos seguintes pudessem ser aplicados especificamente sobre esta delimitação.

### 4.1 OBTENÇÃO E ADEQUAÇÃO DE CAMADAS VETORIAIS

Para o desenvolvimento da pesquisa, foram utilizados apenas arquivos vetoriais disponibilizados de forma gratuita e *online*. Na Tabela 3 estão indicadas as principais informações de cada um dos vetores adquiridos.

TABELA 3 - PRINCIPAIS INFORMAÇÕES DOS ARQUIVOS VETORIAIS OBTIDOS

| ARQUIVO                              | ESCALA<br>CARTOGRÁFICA | ANO DE<br>ATUALIZAÇÃO | FONTE  |
|--------------------------------------|------------------------|-----------------------|--|
| Delimitação do Estado do Paraná      | 1:50.000               | 2015                  | Instituto de Terras, Cartografia e Geociências (ITCG)            |
| Bacias hidrográficas do Paraná       | 1:50.000               | 2007                  | Instituto das Águas do Paraná (AGUASPARANÁ)                      |
| Sub-bacias do Alto Iguaçu            | 1:10.000               | 2000                  | Instituto das Águas do Paraná (AGUASPARANÁ)                      |
| Geologia e geotecnia do Alto Iguaçu  | 1:20.000               | 2000                  | Instituto das Águas do Paraná (AGUASPARANÁ)                      |
| Hidrografia do Alto Iguaçu           | 1:10.000               | 2000                  | Instituto das Águas do Paraná (AGUASPARANÁ)                      |
| Unidades de Conservação Federais     | 1:250.000              | 2016                  | Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) |
| Áreas prioritárias da Mata Atlântica | 1:250.000              | 2007                  | Ministério do Meio Ambiente (MMA)                                |
| Massas de água do Brasil             | 1:1.000.000            | 2016                  | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)           |

FONTE: O autor (2016).

A escolha de cada *shapefile* foi baseada em critérios que consideravam a maior especificidade para a área de estudo em conjunto com as datas de atualização mais recentes. Para tornar estas informações compatíveis entre si, foi realizada uma conversão para o sistema de coordenadas planas, na projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), em *datum* SIRGAS 2000 e Fuso 22 Sul (S). Em seguida, as camadas vetoriais contendo a divisão política do Paraná (ITCG, 2015) e as sub-bacias do Alto Iguaçu (ÁGUASPARANÁ, 2000) foram carregadas em *software* QGIS, para geração de um recorte, unindo os dois arquivos. Desta forma, foi possível visualizar os municípios paranaenses que se encontram inseridos na bacia do Alto Iguaçu e a forma como eles se relacionam, através do mapa apresentado na Figura 14.

FIGURA 14 - MAPA DA BACIA DO ALTO IGUAÇU - PR



FONTE: O autor (2016).

Com base na Figura 14, observa-se que a bacia do Alto Iguaçu abrange três municípios completamente (Curitiba, Pinhais e Fazenda Rio Grande) e outros doze parcialmente (Almirante Tamandaré, Colombo, Campina Grande do Sul, Quatro Barras, Piraquara, São José dos Pinhais, Mandirituba, Araucária, Contenda, Balsa Nova, Campo Largo e Campo Magro), totalizando cerca de 2.881,73 km<sup>2</sup>. Na Tabela 4, estão apontadas as áreas de drenagem de cada sub-bacia, que foram utilizadas no cálculo da área total da bacia.

TABELA 4 - ÁREAS DE DRENAGEM DAS SUB-BACIAS DO ALTO IGUAÇU - PR

| SUB-BACIA                                      | ÁREA (km <sup>2</sup> ) | SUB-BACIA            | ÁREA (km <sup>2</sup> ) |
|--|-------------------------|----------------------|-------------------------|
| Área de contribuição direta do Alto Rio Iguaçu | 285,90                  | Rio Iraizinho        | 52,26                   |
|  |                         | Rio Isabel Alves     | 58,23                   |
| Arroio Mascate                                 | 24,07                   | Rio Itaqui           | 185,90                  |
| Ribeirão da Divisa                             | 19,15                   | Rio Itaqui           | 45,99                   |
| Rio Alto Boqueirão                             | 4,78                    | Rio Maurício         | 134,78                  |
| Rio Atuba                                      | 125,99                  | Rio Miringuava       | 161,30                  |
| Rio Avariú                                     | 6,72                    | Rio Miringuava-Mirim | 114,60                  |
| Rio Barigui                                    | 264,88                  | Rio Padilha          | 31,78                   |
| Rio Belém                                      | 89,53                   | Rio Palmital         | 89,76                   |
| Rio Cotia                                      | 80,08                   | Rio Passaúna         | 216,68                  |
| Rio da Ressaca                                 | 12,56                   | Rio Pequeno          | 130,45                  |
| Rio do Despique                                | 74,17                   | Rio Piraquara        | 102,19                  |
| Rio do Meio                                    | 11,55                   | Rio Piunduva         | 27,32                   |
| Rio Faxinal                                    | 70,25                   | Rio Turvo            | 37,81                   |
| Rio Guajuvira                                  | 72,49                   | Rio Verde            | 238,78                  |
| Rio Iraí                                       | 111,78                  | <b>TOTAL</b>         | <b>2.881,73</b>         |

FONTE: Instituto das Águas do Paraná - ÁGUASPARANÁ (2000).

#### 4.2 OBTENÇÃO E PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS ORBITAIS

Para realização do procedimento de Classificação Supervisionada de Imagens, foi necessário adquirir previamente imagens de satélite que contemplassem os limites da bacia do Alto Iguaçu. Nesta etapa, optou-se pelo satélite LANDSAT 8 OLI (*Operational Land Imager*), cujas imagens se encontram disponíveis no acervo virtual da *United States Geological Survey* para *download* gratuito. Inicialmente, verificou-se que seriam necessárias duas cenas adjacentes para abranger a bacia do Alto Iguaçu, identificadas pelas órbitas 220 e 221, no ponto 078.

A escolha das imagens orbitais foi baseada em três fatores, analisados de maneira conjunta: o custo de aquisição, que deveria ser nulo; a data de captura, sendo consideradas as imagens mais recentes e obtidas em períodos relativamente próximos; e a distribuição da cobertura de nuvens, a qual deveria ser mínima na região de estudo, de modo a não interferir no mapeamento das *wetlands*.

Desta forma, todas as combinações de imagens disponíveis foram analisadas em ordem cronológica decrescente, até que fosse encontrado um par de imagens adequado ao propósito da pesquisa, conforme apresentado na Tabela 5.

TABELA 5 - IMAGENS ANALISADAS DO SATÉLITE LANDSAT 8 OLI E SUAS PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS

| ÓRBITA     | PONTO      | DATA DE AQUISIÇÃO | COBERTURA DE NUVENS (%) |
|------------|------------|-------------------|-------------------------|
| 220        | 078        | 12/06/2016        | 0,06                    |
| 221        | 078        | 03/06/2016        | 74,58                   |
| 220        | 078        | 27/05/2016        | 81,52                   |
| 221        | 078        | 18/05/2016        | 31,53                   |
| 220        | 078        | 11/05/2016        | 71,54                   |
| 221        | 078        | 02/05/2016        | 0,28                    |
| <b>220</b> | <b>078</b> | <b>25/04/2016</b> | <b>35,63</b>            |
| <b>221</b> | <b>078</b> | <b>16/04/2016</b> | <b>13,38</b>            |

FONTE: O autor (2016).

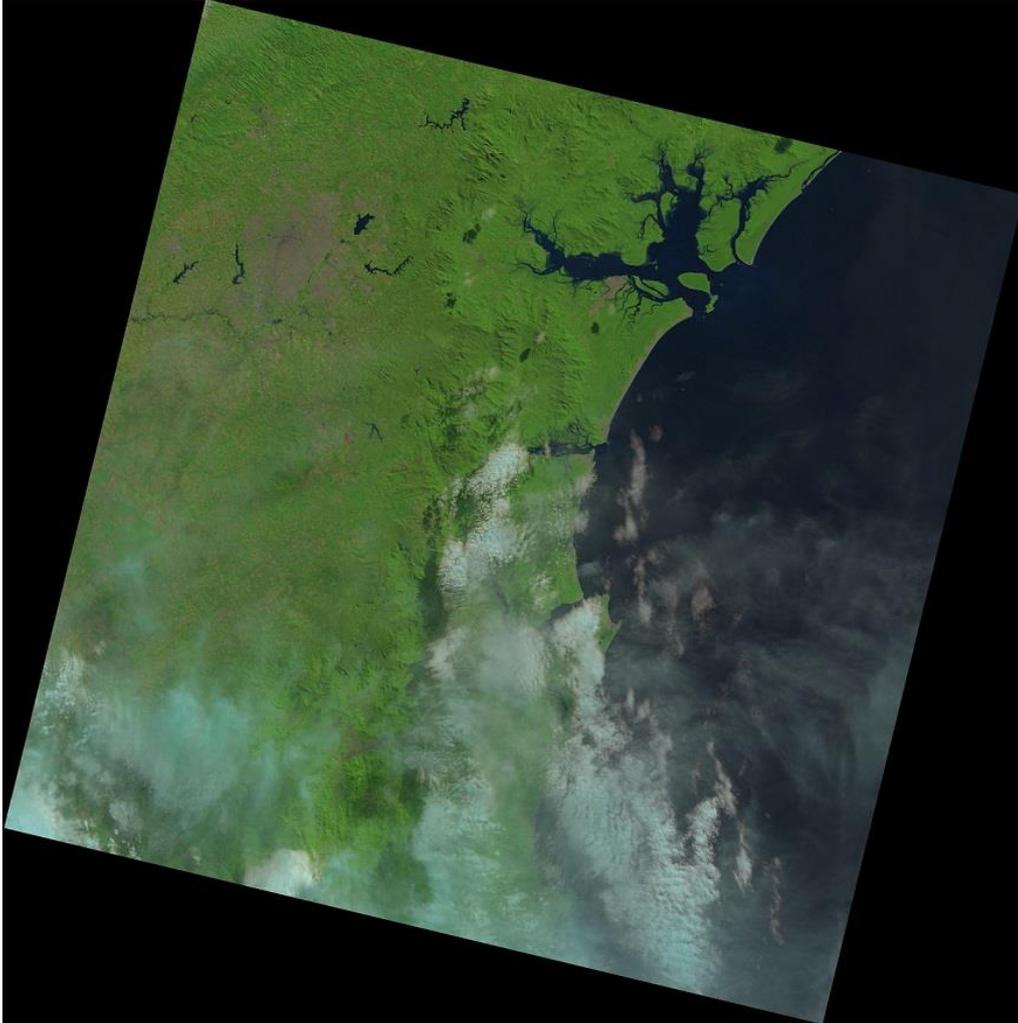
Nas Figuras 15 e 16, estão indicadas as composições originais das imagens adquiridas no portal *online* do *LandsatLook Viewer*, disponibilizadas sob os nomes LC82210782016107LGN00 e LC82200782016116LGN00, respectivamente.

FIGURA 15 - IMAGEM DO SATÉLITE LANDSAT 8 OLI PARA ÓRBITA 221 E PONTO 078



FONTE: *United States Geological Survey - USGS* (2016).

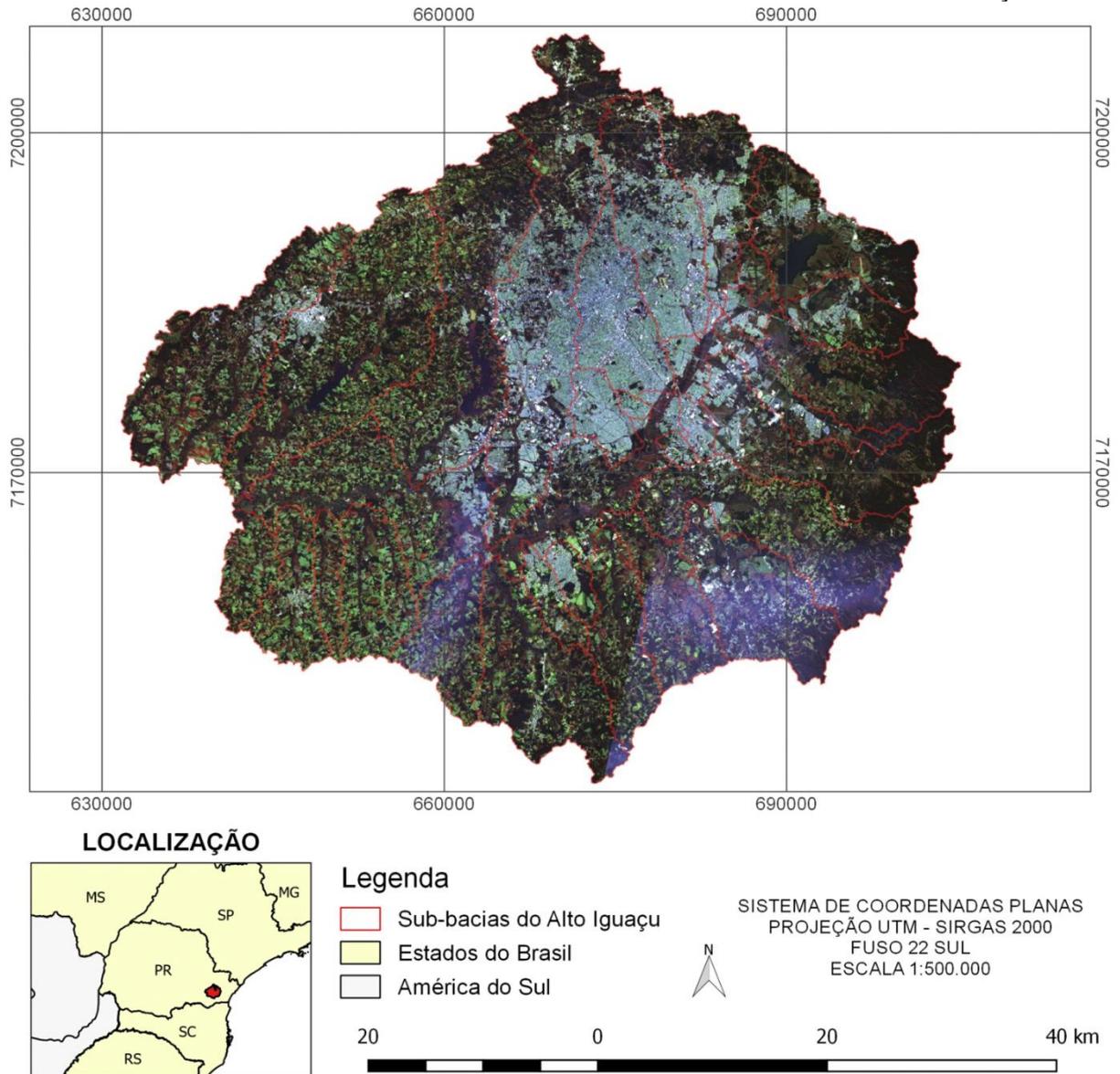
FIGURA 16 - IMAGEM DO SATÉLITE LANDSAT 8 OLI PARA ÓRBITA 220 E PONTO 078



FONTE: *United States Geological Survey – USGS (2016).*

Em síntese, foram utilizadas três técnicas de processamento digital de imagens orbitais: (i) a composição colorida RGB; (ii) a fusão das bandas multiespectral e pancromática; (iii) e a classificação supervisionada, que serão melhor descritas adiante. Com o propósito de visualizar as duas imagens de satélite em uma única perspectiva, realizou-se um mosaico ajustado para a bacia do Alto Iguaçu com ambas as cenas. Nesta etapa, foi empregado o *software* QGIS para remover os planos de fundo das duas imagens e produzir o mosaico, sobre o qual se gerou um recorte a partir do *shapefile* contendo a delimitação das sub-bacias. Por fim, o arquivo foi carregado em uma composição falsa-cor para facilitar a percepção da interferência das nuvens, conforme ilustrado na Figura 17.

FIGURA 17 - IMAGEM DO SATÉLITE LANDSAT 8 OLI PARA A BACIA DO ALTO IGUAÇU - PR



FONTE: O autor (2016).

Para melhorar a qualidade espacial das duas cenas adquiridas pelo LANDSAT 8 OLI, foi aplicada a técnica de *pan-sharpening*, que se caracteriza pela fusão da banda multiespectral, com resolução de 30 metros, com a banda pancromática, de 15 metros. Neste processo, as duas cenas originais, com resolução radiométrica de 16 bits, são fusionadas, resultando em uma única imagem contendo valores fracionários nos pixels, isto é, do tipo *float*, ou ponto flutuante, de 32 bits.

Considerando que este tipo de arquivo é incompatível com o *software* MultiSpec, além de ocupar muito espaço em disco rígido, realizou-se uma transformação radiométrica, convertendo cada banda para 8 bits, mantendo-se apenas os números inteiros não sinalizados, ou seja, somente positivos. Esta etapa pode ser executada através da biblioteca geoespacial do QGIS, conhecida como GDAL. Para tanto, o usuário precisa

descobrir quais são os valores numéricos mínimo e máximo armazenados nos pixels de cada banda a ser convertida. Na opção de metadados da imagem, é possível verificar este intervalo de valores, identificado pelos códigos “statistics\_minimum” e “statistics\_maximum”. Em seguida, basta adicionar os parâmetros “-ot Byte -scale statistics\_minimum statistics\_maximum -co TFW=YES” na linha de comando GDAL, substituindo os dígitos mínimo e máximo dos pixels, encontrados anteriormente.

Com base nos parâmetros adicionados, a ferramenta GDAL consegue realizar três ações simultaneamente: o armazenamento dos dados em um formato de 8 bits não sinalizado; a alteração na escala dos dados, mantendo-se a proporcionalidade que existe entre 16 bits ( $2^{16} = 65.536$  valores) e 8 bits ( $2^8 = 256$  valores); e a criação de um arquivo .tfw associado, que armazena informações sobre o posicionamento do primeiro pixel da imagem em um determinado sistema de coordenadas geográficas.

Após a conversão radiométrica de cada banda para 8 bits, efetuou-se uma composição colorida RGB (vermelho-verde-azul ou *red-green-blue*, em inglês), no software QGIS. Em cada uma das cenas analisadas, foram associadas as bandas 6, 5 e 4, nesta ordem, aos canais de cores RGB, através da função mosaico do QGIS. Considerando que a escolha das faixas espectrais para o empilhamento de bandas depende do propósito da pesquisa, buscou-se avaliar previamente o modo como os alvos de interesse se comportam ao longo do espectro eletromagnético, especialmente no que diz respeito aos corpos d'água, à vegetação e ao solo, cujas curvas de reflectância espectral estão indicadas na Figura 10.

Para definir a melhor associação de bandas a serem carregadas em cada canal R, G e B, é necessário conhecer o princípio de adição das cores primárias (vermelho, verde e azul), em que se originam as secundárias, como o magenta (vermelho + azul). Com base nas curvas de comportamento espectral, verificou-se quais eram os intervalos de comprimento de onda com os maiores níveis de reflectância de cada alvo, obtendo-se: a banda 5 (IVP) para a vegetação; a banda 6 (IVM) para o solo e a banda 4 (R) para a água.

Para que um objeto seja percebido como uma determinada cor, é possível associar uma banda de alta reflectância no canal da cor primária de interesse. Neste caso, como a vegetação apresenta esta característica na banda 5, correspondente ao infravermelho próximo, carregou-se a banda 5 no canal verde (G), para visualizar a vegetação em coloração verde. Seguindo o mesmo raciocínio, associou-se a banda 6 ao canal vermelho (R) e a banda 4 ao canal azul (B). Desta forma, após realizar uma composição colorida com as bandas 6, 5 e 4 (IVM/IVP/R), a água deveria apresentar uma coloração azulada e

o solo deveria aparecer avermelhado ou, ao menos, em uma tonalidade que contivesse o vermelho em sua mistura.

Após o empilhamento das bandas 6, 5 e 4 no *software* QGIS, foi necessário realizar uma superimposição da banda pancromática sobre a banda multiespectral, para que ambas as imagens ficassem com uma resolução espacial de 15 metros, já que estas bandas possuem tamanhos diferentes de pixel. Este procedimento foi executado com o auxílio do algoritmo “*superimpose sensor*”, do Orfeo Monteverdi, instalado no QGIS. Como resultado, obtiveram-se duas cenas com resolução radiométrica de 32 bits, convertidas novamente para o formato de 8 bits, através da adição do comando “-ot Byte” na biblioteca GDAL.

Através da ferramenta “*pansharpening (rcs)*” do Orfeo Monteverdi, realizou-se a fusão da faixa pancromática (8) com a imagem oriunda da superimposição (654), com o intuito de colorir a banda 8, que estava anteriormente em tons de cinza. Em seguida, as duas imagens fusionadas foram salvas no sistema de coordenadas planas, na projeção UTM, em *datum* SIRGAS 2000 e Fuso 22 Sul. Após verificar que este processo gerou arquivos do tipo 32 bits, foi necessário aplicar mais uma vez a conversão radiométrica para 8 bits não sinalizado.

Por fim, as imagens fusionadas foram recortadas para a área de estudo, utilizando-se como referência a delimitação vetorial da bacia do Alto Iguaçu. Nesta etapa, foi adicionado novamente o comando “-ot Byte”, para manter a resolução de 8 bits. Para visualizar as duas cenas em um único mosaico, utilizou-se a função “construir *raster* vetorial”, inserida no menu “*raster*” do QGIS.

Além do *software* MultiSpec, optou-se pela realização de um segundo ensaio de classificação em ambiente QGIS, por meio do complemento *Semi-Automatic Classification Plugin* (SCP), desenvolvido por Luca Congedo, em 2013. Considerando que no QGIS não ocorrem conflitos com arquivos em resolução radiométrica de 32 bits, é possível utilizar o recorte da área de estudo diretamente sobre as imagens fusionadas, sem que haja uma transformação prévia.

Em contrapartida, deve-se atentar ao fato de que a classificação supervisionada em QGIS exige que a imagem multiespectral possua uma independência entre as bandas de sua composição. Por este motivo, os processos de superimposição, fusão e mosaico foram aplicados de forma separada para cada uma das bandas de interesse, neste caso, as de número 4, 5, 6 e 8. Então, somente após esta etapa, foi realizada a composição colorida, através de um empilhamento dos mosaicos formados pelas bandas 6, 5 e 4, nesta ordem. Apenas para reduzir o espaço ocupado em disco rígido, optou-se por transformar a imagem produzida em 16 bits, já que isto não causa nenhuma perda, em termos de

qualidade. Após a realização deste procedimento por meio da inserção do comando “-ot UInt16” na biblioteca GDAL, foi gerada a imagem que serviria de base para a classificação propriamente dita.

Em ambos os *softwares*, MultiSpec e QGIS, o processo de classificação supervisionada de imagens se inicia com a definição das classes de interesse. Neste caso, buscou-se identificar os fragmentos caracterizados por água, solo seco e úmido, vegetação rasteira e arbórea, áreas urbanas de baixa e alta densidade, além do próprio fundo da imagem, no caso do MultiSpec. Na Tabela 6, estão indicadas as principais características visuais de cada alvo para as imagens do satélite LANDSAT 8 OLI, carregadas em composição colorida 654.

TABELA 6 - PERCEPÇÃO DE ALVOS EM IMAGEM DO SATÉLITE LANDSAT 8 OLI EM COMPOSIÇÃO COLORIDA 654

| <b>CLASSE DE INFORMAÇÃO</b> | <b>PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS VISUAIS</b> |
|-----------------------------|---|
| 1 – Água                    | Azul claro e escuro, próximo ao preto     |
| 2 – Fundo                   | Preto sólido, textura lisa                |
| 3 - Solo seco               | Amarelo, marrom e rosa, textura lisa      |
| 4 - Solo úmido              | Vermelho escuro                           |
| 5 - Urbano denso            | Roxo escuro e branco, pixelados           |
| 6 – Urbano                  | Rosa e roxo claro, pixelados              |
| 7 - Vegetação rasteira      | Verde claro, textura lisa                 |
| 8 - Vegetação arbórea       | Verde escuro, textura rugosa              |

FONTE: O autor (2016).

Considerando que o foco do presente estudo consiste em mapear as *wetlands* da bacia do Alto Iguaçu, deu-se maior ênfase à classe “água”. Desta forma, a coleta de amostras foi realizada a partir dos alvos identificados como corpos hídricos, percebidos em tonalidades azuladas.

Partindo do princípio de que o sucesso da classificação depende de uma boa amostragem, tomou-se o cuidado de coletar o mesmo número de pixels em cada classe de informação, em amostras homogêneas, isto é, de tamanhos semelhantes. Além disso, as amostras devem estar bem distribuídas e ser representativas de cada classe, de modo a englobar toda a variação espectral existente. Para tanto, foi necessário coletar as diferenças de coloração existentes em cada classe de interesse.

Inicialmente, verificou-se que diversos corpos hídricos da imagem apresentavam tamanho reduzido, quando comparados com os demais alvos. Sendo assim, caso as amostras fossem muito grandes, invariavelmente seriam coletados fragmentos maiores do

que muitos trechos de água, o que inviabilizaria a obtenção de uma classificação precisa. Por isso, em *software* MultiSpec, optou-se por coletar amostras de treinamento e de teste contendo aproximadamente 21 pixels, por se ajustarem melhor aos corpos hídricos da imagem utilizada. Seguindo esta prática, foram coletados 5.472 pixels para a classe “água”, ao final da amostragem. Em seguida, este procedimento foi replicado sobre os outros alvos, para então ser realizada a classificação das imagens com o algoritmo de máxima verossimilhança.

No *software* QGIS, por sua vez, foi necessário criar um arquivo vetorial de treinamento, no qual são definidas as amostras de cada classe de informação, identificadas como *Regions Of Interest* (ROIs) pela ferramenta SCP. A criação das amostras pode ocorrer de forma automática, manual ou aleatória. Neste caso, foi aplicada a primeira modalidade, que considera a distância espectral entre os pixels para otimizar a criação dos polígonos de cada classe. Assim, o usuário determina previamente qual será a variação espectral tolerada durante a amostragem, além das quantidades máxima e mínima de pixels a serem coletados. A partir da Figura 18, é possível compreender o funcionamento simplificado desta ferramenta.

FIGURA 18 - MATRIZ EXEMPLIFICATIVA

|   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|
| 2 | 5 | 9 | 9 | 2 |
| 9 | 6 | 5 | 2 | 9 |
| 2 | 6 | 5 | 6 | 4 |
| 9 | 2 | 4 | 6 | 6 |
| 2 | 9 | 2 | 9 | 5 |

FONTE: O autor (2016).

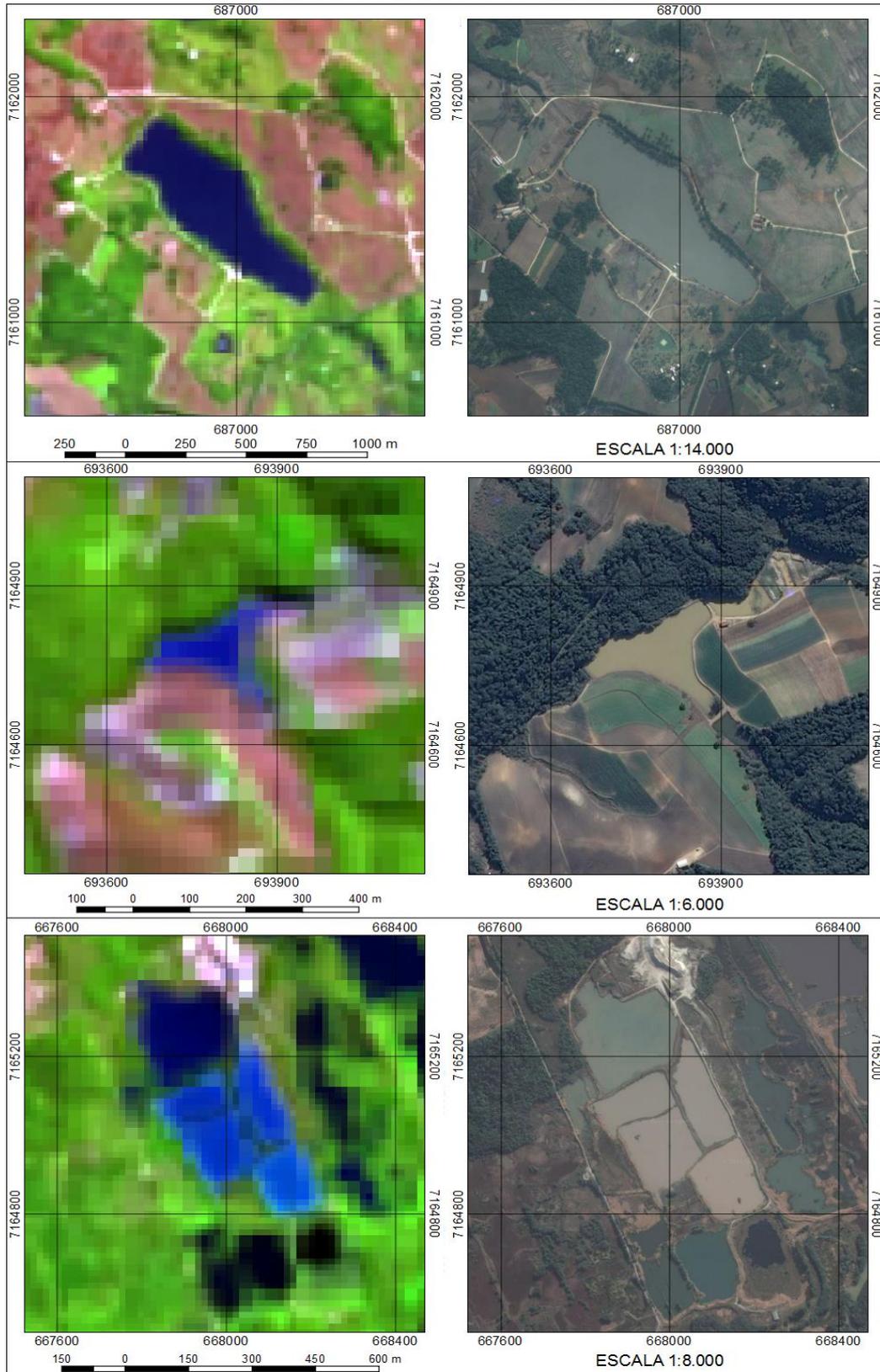
Neste exemplo, caso o usuário defina o valor “1” como sendo a distância espectral permitida, ao escolher um pixel representado pelo número 5, também serão amostrados todos aqueles que se iniciam em 4 ou finalizam em 6, desde que estejam relativamente próximos e que os limites inferior e superior da amostra estejam dentro desta matriz de 5 x 5 pixels. Desta forma, a coleta de alvos com características distintas torna-se mais eficiente, já que o processo depende, em grande parte, das especificações estabelecidas pelo usuário, viabilizando assim uma amostragem satisfatória de objetos que possuem diferentes intervalos de variação espectral.

Ao contrário do MultiSpec, no *software* QGIS não é necessário classificar o fundo da imagem, pois o programa realiza este procedimento de forma automática. Tendo isso em vista, as amostras foram adquiridas segundo sete classes de informação, denominadas como: água; solo seco; solo úmido; vegetação rasteira; vegetação arbórea; urbano de alta densidade; e urbano de baixa densidade. Os polígonos de cada alvo de interesse foram armazenados no *shapefile* de treinamento, sobre o qual foi realizada a classificação, por meio do algoritmo de mapeamento por ângulo espectral ou *Spectral Angle Mapping* (SAM), em inglês, que se mostrou mais apropriado na identificação dos objetos da imagem.

Como forma de contribuir com a análise referente à performance da classificação, foi criado um novo arquivo vetorial, em *software* QGIS, a partir da imagem pré-processada. Depois de carregá-la em composição colorida 654, foi empregada a mesma ferramenta automática de coleta de amostras para adquirir o contorno de corpos d'água com pequenas profundidades, visualizados em azul-claro. Este procedimento foi executado com o auxílio do complemento *OpenLayers*, que possibilita a adição gratuita de camadas desenvolvidas por serviços de mapeamento.

Para tanto, recorreu-se à uma sobreposição do mosaico colorido com imagens de satélite de alta resolução, disponibilizadas pelo *Google Maps* e obtidas em 2016. Assim, através de comparações entre ambas as camadas, foi possível gerar um *shapefile* contendo a delimitação das águas rasas, conforme o exemplo ilustrado na Figura 19.

FIGURA 19 - COMPARATIVO DE CORPOS D'ÁGUA RASOS EM IMAGEM COLORIDA DO SATÉLITE LANDSAT 8 OLI E DO GOOGLE MAPS



- Legenda**
- Bacia do Alto Iguaçu
  - Paraná
  - Estados do Brasil



SISTEMA DE COORDENADAS PLANAS  
 PROJEÇÃO UTM - SIRGAS 2000  
 FUSO 22 SUL

FONTE: O autor (2016).

Após finalizar a delimitação de todos os corpos hídricos de pequena profundidade na imagem, utilizou-se a função “calculadora de campo” para estimar a área total do arquivo, detectada como 6.122,70 m<sup>2</sup>. Entretanto, este valor pode apresentar imprecisões que se justificam, principalmente, pela influência que certos fatores exercem sobre a percepção dos corpos hídricos em uma imagem orbital. Em síntese, a turbidez, o teor de matéria orgânica, a quantidade de sedimentos e a presença de clorofila, no caso de ambientes eutrofizados, são capazes de modificar a reflectância espectral da água e, conseqüentemente, a tonalidade com que aparecem na imagem.

#### 4.3 PÓS-PROCESSAMENTO DE IMAGENS

Na etapa de pós-processamento, foram geradas as matrizes de erros associadas aos projetos de classificação, com o intuito de avaliar a qualidade das imagens, com base em parâmetros estatísticos. Assim, nos casos em que houveram falhas durante o processo de classificação, repetiu-se a coleta de amostras até que fossem obtidos mapas satisfatórios.

Para melhorar a visualização dos produtos, utilizou-se o *software* QGIS para produzir os *layouts*, adicionando os elementos cartográficos necessários ao propósito da pesquisa. Desta forma, elaborou-se um mapa temático a partir do cruzamento de diversos arquivos vetoriais e matriciais adquiridos anteriormente.

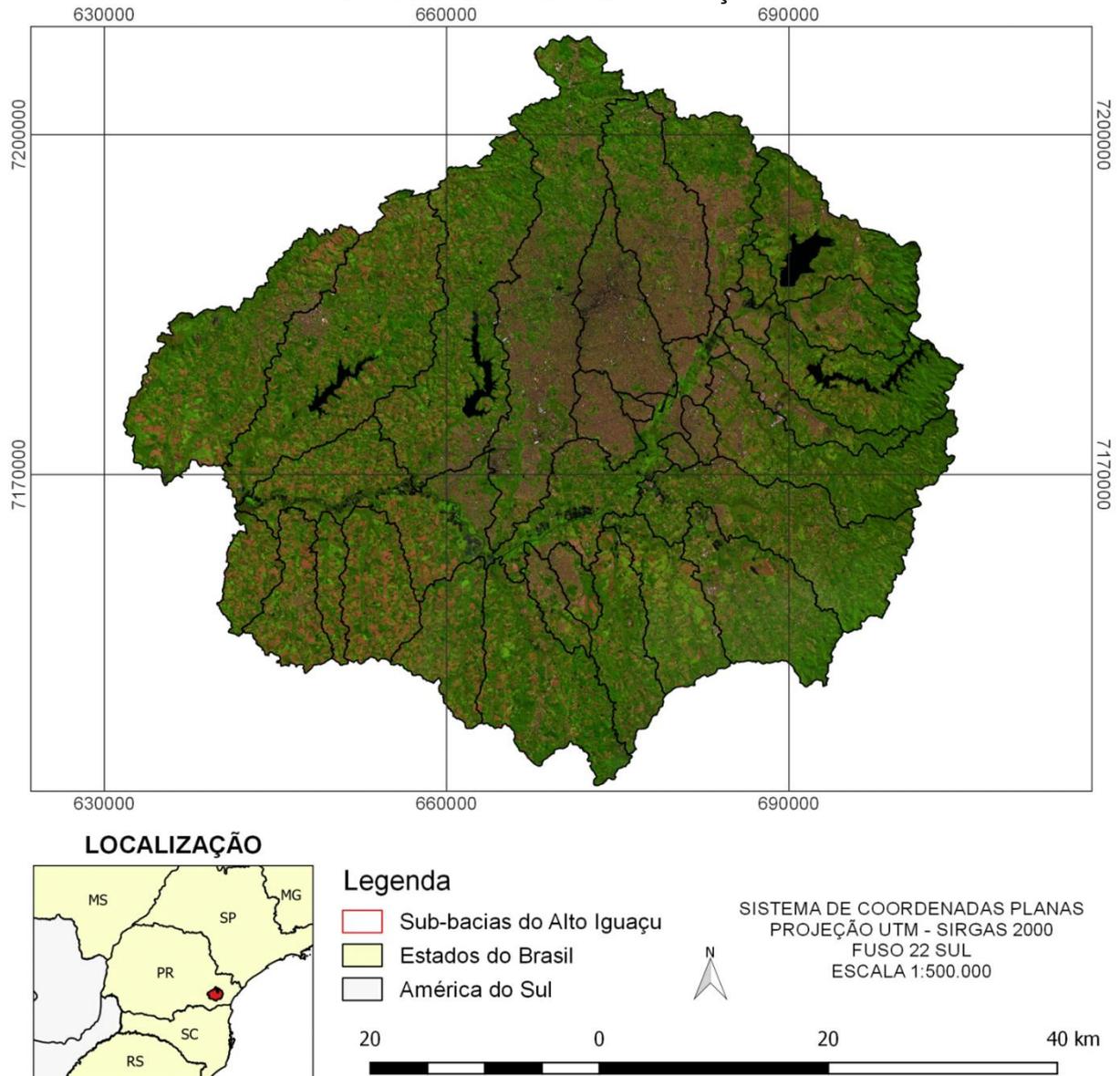
#### 4.4 PUBLICAÇÃO EM NUVEM

Com vistas ao compartilhamento gratuito de informações, utilizou-se o *plugin* QGISCloud para publicação do mapa temático final. O resultado pode ser acessado através do *link* [http://qgiscloud.com/julhama/tcc\\_wetlands](http://qgiscloud.com/julhama/tcc_wetlands), no qual o usuário pode obter informações adicionais a respeito das áreas alagáveis mapeadas, como a classe à qual determinado pixel pertence ou a área desta feição, fornecida em km<sup>2</sup>.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ao longo da pesquisa, diversos mapas temáticos foram elaborados para a bacia do Alto Iguaçu, a partir de arquivos vetoriais e matriciais adquiridos previamente. Na Figura 20, está ilustrado o resultado obtido durante a etapa de pré-processamento, na qual se aplicou a técnica de fusão de imagens em *software* QGIS.

FIGURA 20 - FUSÃO DE IMAGENS MULTIESPECTRAL E PANCROMÁTICA DO SATÉLITE LANDSAT 8 OLI PARA A BACIA DO ALTO IGUAÇU - PR



FONTE: O autor (2016).

Com base na Figura 21, é possível observar o incremento de detalhes adquirido após a fusão da faixa pancromática com as bandas multiespectrais, em composição colorida RGB.

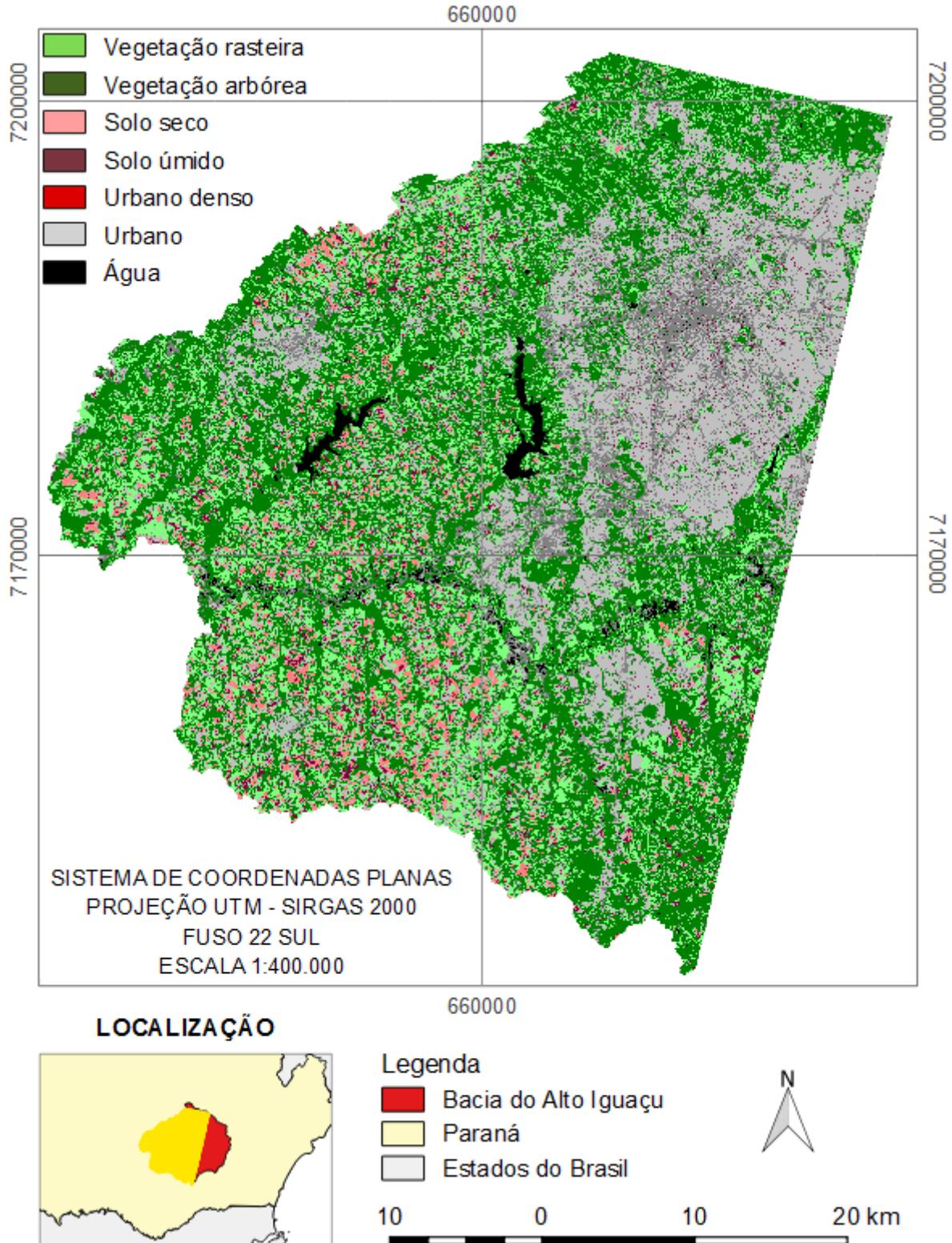
FIGURA 21 - RESULTADO DA FUSÃO DE IMAGENS DO SATÉLITE LANDSAT 8 OLI, EM TERMOS DE RESOLUÇÃO ESPACIAL



FONTE: O autor (2016).

Após verificar que a geração do mosaico compromete a visualização da imagem fusionada no *software* MultiSpec, optou-se por realizar a classificação supervisionada sobre as duas cenas de forma separada, voltando a reagrupá-las depois. Aplicando este processo primeiramente para a cena da órbita 221, no ponto 078, obteve-se o mapa indicado na Figura 22.

FIGURA 22 - RESULTADO DA CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA DE IMAGENS EM SOFTWARE MULTISPEC PARA A ÓRBITA 221, PONTO 078 DO SATÉLITE LANDSAT 8 OLI



FONTE: O autor (2016).

Para avaliar a acurácia do resultado, utilizou-se a matriz de erros associada ao projeto de classificação, apresentada na Figura 23.

FIGURA 23 - MATRIZ DE ERROS OBTIDA APÓS A CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA EM SOFTWARE MULTISPEC

TRAINING CLASS PERFORMANCE (Resubstitution Method)

| Project Class Name        | Reference Class Number | Accuracy+ (%) | Number Samples | Number of Samples in Class |            |                |                 |                   |             |                   |                   |      |
|---------------------------|------------------------|---------------|----------------|----------------------------|------------|----------------|-----------------|-------------------|-------------|-------------------|-------------------|------|
|                           |                        |               |                | 1<br>Água                  | 2<br>Fundo | 3<br>Solo seco | 4<br>Solo úmido | 5<br>Urbano denso | 6<br>Urbano | 7<br>Vegetação ra | 8<br>Vegetação ar |      |
| Água                      | 1                      | 98.6          | 5472           | 5397                       | 0          | 0              | 0               | 0                 | 75          | 0                 | 0                 | 0    |
| Fundo                     | 2                      | 100.0         | 5472           | 0                          | 5472       | 0              | 0               | 0                 | 0           | 0                 | 0                 | 0    |
| Solo seco                 | 3                      | 99.3          | 5472           | 0                          | 0          | 5435           | 1               | 0                 | 0           | 36                | 0                 | 0    |
| Solo úmido                | 4                      | 97.1          | 5472           | 0                          | 0          | 5              | 5311            | 52                | 104         | 0                 | 0                 | 0    |
| Urbano denso              | 5                      | 88.3          | 5472           | 190                        | 0          | 0              | 29              | 4832              | 410         | 1                 | 10                | 0    |
| Urbano                    | 6                      | 96.4          | 5472           | 0                          | 0          | 5              | 49              | 143               | 5275        | 0                 | 0                 | 0    |
| Vegetação rasteira        | 7                      | 100.0         | 5472           | 0                          | 0          | 0              | 0               | 0                 | 0           | 5472              | 0                 | 0    |
| Vegetação arbórea         | 8                      | 100.0         | 5472           | 1                          | 0          | 0              | 0               | 0                 | 0           | 0                 | 1                 | 5470 |
| TOTAL                     |                        |               | 43776          | 5588                       | 5472       | 5445           | 5390            | 5102              | 5825        | 5474              | 5480              |      |
| Reliability Accuracy (%)* |                        |               |                | 96.6                       | 100.0      | 99.8           | 98.5            | 94.7              | 90.6        | 100.0             | 99.8              |      |

OVERALL CLASS PERFORMANCE (42664 / 43776 ) = 97.5%  
 Kappa Statistic (X100) = 97.1%. Kappa Variance = 0.000001.

FONTE: O autor (2016).

A matriz de erros ou confusão possui dimensão  $n \times n$ , sendo  $n$  o número de classes, onde as colunas indicam as classes de referência, dadas pelas amostras, e as linhas representam as classes resultantes do processo. Assim, é possível comparar o resultado classe a classe com relação aos dados de referência, neste caso, as amostras. Na diagonal principal, estão apresentados os pixels corretamente classificados, sendo que o restante são os erros de classificação.

Neste caso, foram amostrados 43.776 pixels, dos quais 42.664 foram classificados corretamente e 1.112 definiam erros de classificação. A exatidão total do processo pode ser calculada pela divisão entre o número de pixels corretamente classificados e o número de pixels de referência, resultando no coeficiente Kappa, estimado em 97,5%. Este parâmetro revela o nível global de concordância das amostras com a realidade, a partir da matriz de erros calculada. Portanto, pode-se dizer que a probabilidade de um pixel ser classificado de forma correta é de 97,5%.

Apesar disso, nota-se que houve uma certa confusão entre algumas classes de informação. Porém, é permitido relevar os erros ocorridos entre classes que não determinam o objetivo do estudo, sem grandes prejuízos. Sendo assim, destacam-se apenas as confusões observadas entre as classes água e urbano denso.

Para auxiliar na análise dos resultados da classificação, também foram calculados outros dois índices específicos para cada classe de informação: a acurácia do produtor (AP); e a acurácia do usuário (AU). A diferença entre estes parâmetros consiste no fato de que a AP examina um pixel que foi identificado na classe X, sendo esta a verdadeira, ao passo que a AU considera que a classe verdadeira é a X, sendo que o classificador atribuiu

o pixel à classe X. Para estimar a AP basta dividir o número de pixels que foram corretamente classificados pelo número total de pixels reconhecidos como pertencentes à esta classe. Por outro lado, para o cálculo da AU utiliza-se a razão entre o número de pixels corretamente classificados e o número total de pixels amostrados, incluindo os que foram atribuídos à outras classes. Na Tabela 7, estão indicados os valores de AP e AU obtidos para cada classe de informação.

TABELA 7 - ÍNDICES DE ACURÁCIA PARA CADA CLASSE DE INFORMAÇÃO OBTIDA EM SOFTWARE MULTISPEC

| CLASSE DE INFORMAÇÃO   | ACURÁCIA DO PRODUTOR        | ACURÁCIA DO USUÁRIO         |
|------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 1 – Água               | 5397/5588 $\approx$ 96,58 % | 5397/5472 $\approx$ 98,63 % |
| 2 – Fundo              | 5472/5472 = 100 %           | 5472/5472 = 100 %           |
| 3 - Solo seco          | 5435/5445 $\approx$ 99,82 % | 5435/5472 $\approx$ 99,32 % |
| 4 - Solo úmido         | 5311/5390 $\approx$ 98,53 % | 5311/5472 $\approx$ 97,06 % |
| 5 - Urbano denso       | 4832/5102 $\approx$ 94,71 % | 4832/5472 $\approx$ 88,30 % |
| 6 – Urbano             | 5275/5825 $\approx$ 90,56 % | 5275/5472 $\approx$ 96,40 % |
| 7 - Vegetação rasteira | 5472/5474 $\approx$ 99,96 % | 5472/5472 = 100 %           |
| 8 - Vegetação arbórea  | 5470/5480 $\approx$ 99,82 % | 5470/5472 $\approx$ 99,96 % |

FONTE: O autor (2016).

Para avaliar se as classes de informação estão adequadas, utilizou-se uma análise de separabilidade entre pares de classes, calculada pela divergência transformada, exibida na Figura 24.

FIGURA 24 - DIVERGÊNCIA TRANSFORMADA DE BANDAS ESPECTRAIS

```

Classes used:
 1: Água
 2: Fundo
 3: Solo seco
 4: Solo úmido
 5: Urbano denso
 6: Urbano
 7: Vegetação rasteira
 8: Vegetação arbórea

class pair symbols >
weighting factor >
Channels   Min.   Ave.
 1  2  3   1683   1986

12 13 14 15 16 17 18 23 24 25 26 27 28 34
(10) (10) (10) (10) (10) (10) (10) (10) (10) (10) (10) (10) (10) (10)
Weighted Interclass Distance Measures
2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000 1986

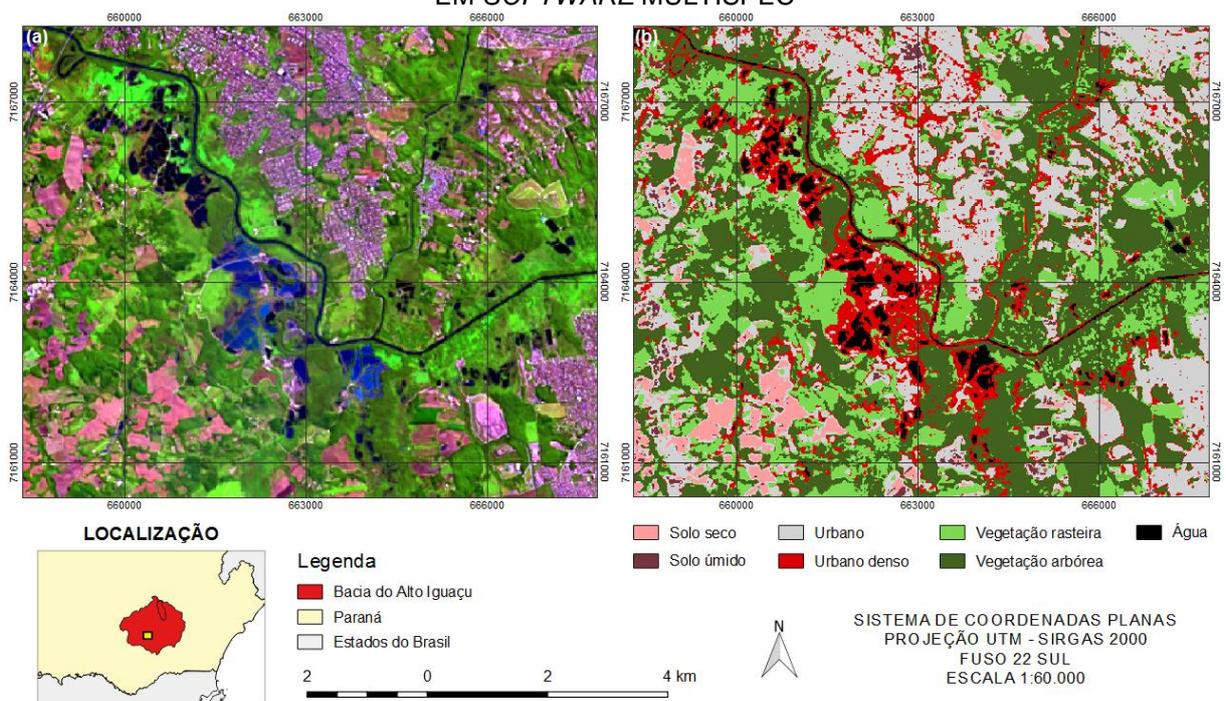
35 36 37 38 45 46 47 48 56 57 58 67 68 78
(10) (10) (10) (10) (10) (10) (10) (10) (10) (10) (10) (10) (10) (10)
2000 1986 2000 2000 2000 1950 2000 2000 1683 2000 2000 2000 2000 1998

```

FONTE: O autor (2016).

Classes espectrais completamente separadas são caracterizadas por um valor de divergência transformada igual a 2000, que define o caso ideal, ilustrado na Figura 11. Aqui, foi constatado que os seguintes grupamentos não estão totalmente distintos entre si: 3-4; 3-6; 4-6; 5-6; 7-8, indicando que a maior sobreposição ocorreu entre as duas classes urbanas, demonstrada pelo valor mínimo de 1683. Porém, apesar de estas classes não estarem totalmente distintas entre si, a precisão do resultado não é afetada, em virtude da prioridade que foi dada à classe 1. Por isso, assumiu-se que a classificação se mostrou teoricamente satisfatória, ainda que uma boa separabilidade seja revelada por um valor mínimo de  $Dt \approx 1700$ . Com o intuito de evidenciar os principais alvos de confusão, elaborou-se a Figura 25, contendo apenas um trecho da imagem classificada, antes e depois do procedimento.

FIGURA 25 - IMAGEM ORBITAL EM COMPOSIÇÃO COLORIDA 654: (A) ANTES DA CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA EM SOFTWARE MULTISPEC; (B) DEPOIS DA CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA EM SOFTWARE MULTISPEC



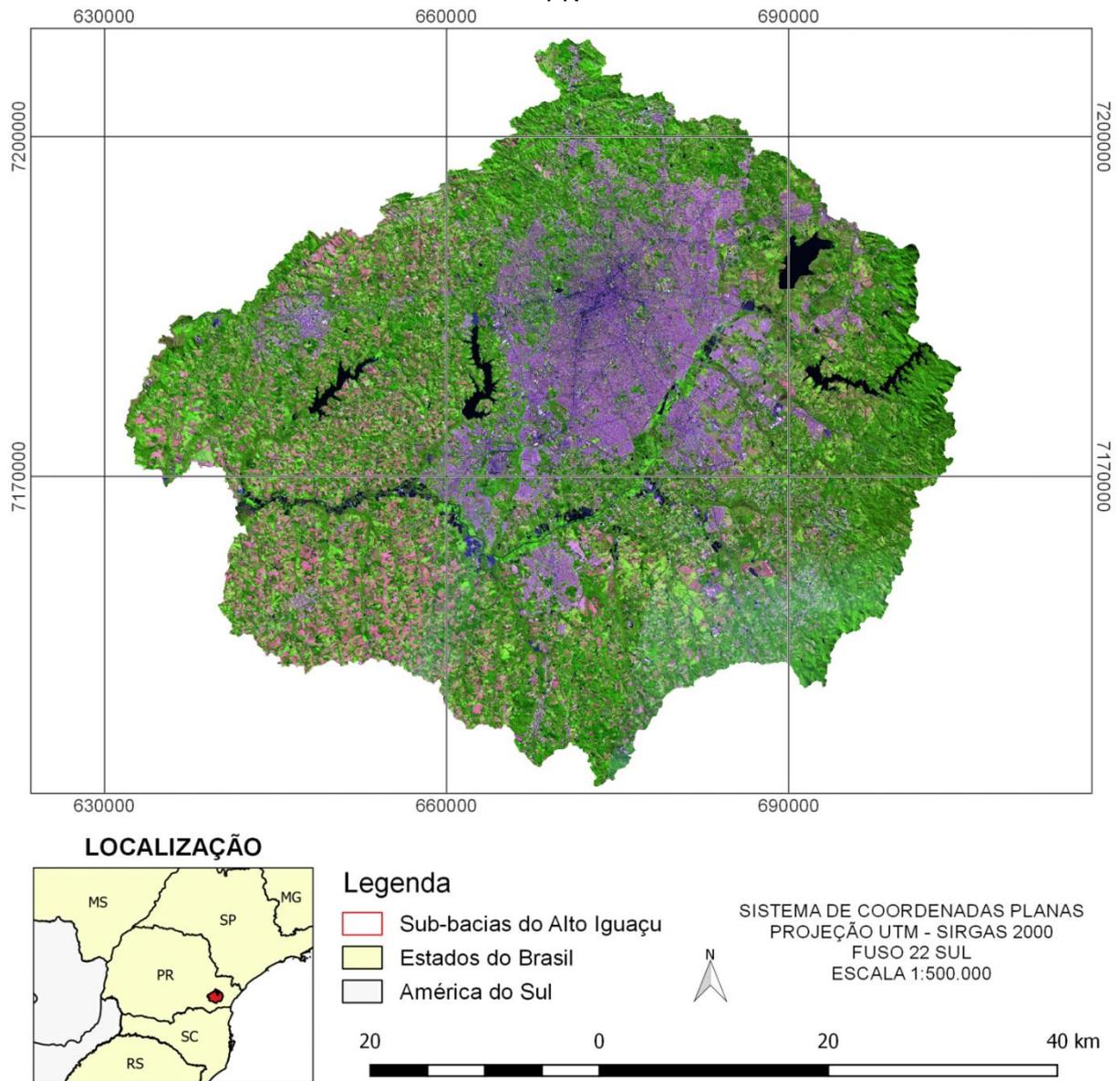
FONTE: O autor (2016).

Ao comparar a imagem classificada com a original, em composição colorida 654, percebe-se que houve uma grande confusão na delimitação dos corpos d'água, causando uma subestimativa de área. Para evidenciar este fato, optou-se por utilizar o vermelho para representar a classe urbano denso e o preto para a água. Assim, nota-se claramente que muitas regiões que não faziam parte da área urbana foram interpretadas de forma incorreta, inviabilizando a utilização do mapa gerado, considerando o propósito da pesquisa.

Portanto, mesmo com uma performance geral de 97,5%, ocorreram confusões significativas durante o processo, sendo que a classe que apresentou menor acurácia foi a de áreas urbanas de alta densidade, com 88,3%. Uma das justificativas para tal acontecimento está relacionada com o aspecto visual bastante texturizado desta parte do território, contendo pixels com valores bastante distintos dispostos lado a lado, em tonalidades que se confundem facilmente com outras classes, em especial a da água. Além disso, o tamanho diminuto das amostras pode ter sido um agravante, complicando ainda mais a distinção entre outras classes de informação, sobretudo as que também possuem porções bastante pixeladas. Entretanto, deve-se lembrar que, neste caso, não é recomendável selecionar amostras maiores, uma vez que esta medida resultaria em uma subestimativa dos fragmentos de água e solo úmido.

Em uma tentativa de melhorar a acurácia da classificação, diversas medidas foram aplicadas, tais como: a alteração na quantidade de pixels amostrados por classe; a redução e o aumento no tamanho das amostras; a substituição do formato retangular padrão de coleta de amostras para polígonos irregulares; a mudança na composição colorida da imagem; e a utilização de diferentes algoritmos classificadores. Entretanto, a confusão entre as classes de interesse continuou a persistir, já que o problema estava associado principalmente com a dimensão e a textura dos alvos de interesse, em conjunto com o mecanismo de classificação do MultiSpec. Por este motivo, passou a se considerar o outro ensaio de classificação realizado no *software* QGIS, sobre a imagem de satélite já colorida e mosaicada, com resolução radiométrica de 32 bits, apresentada na Figura 26.

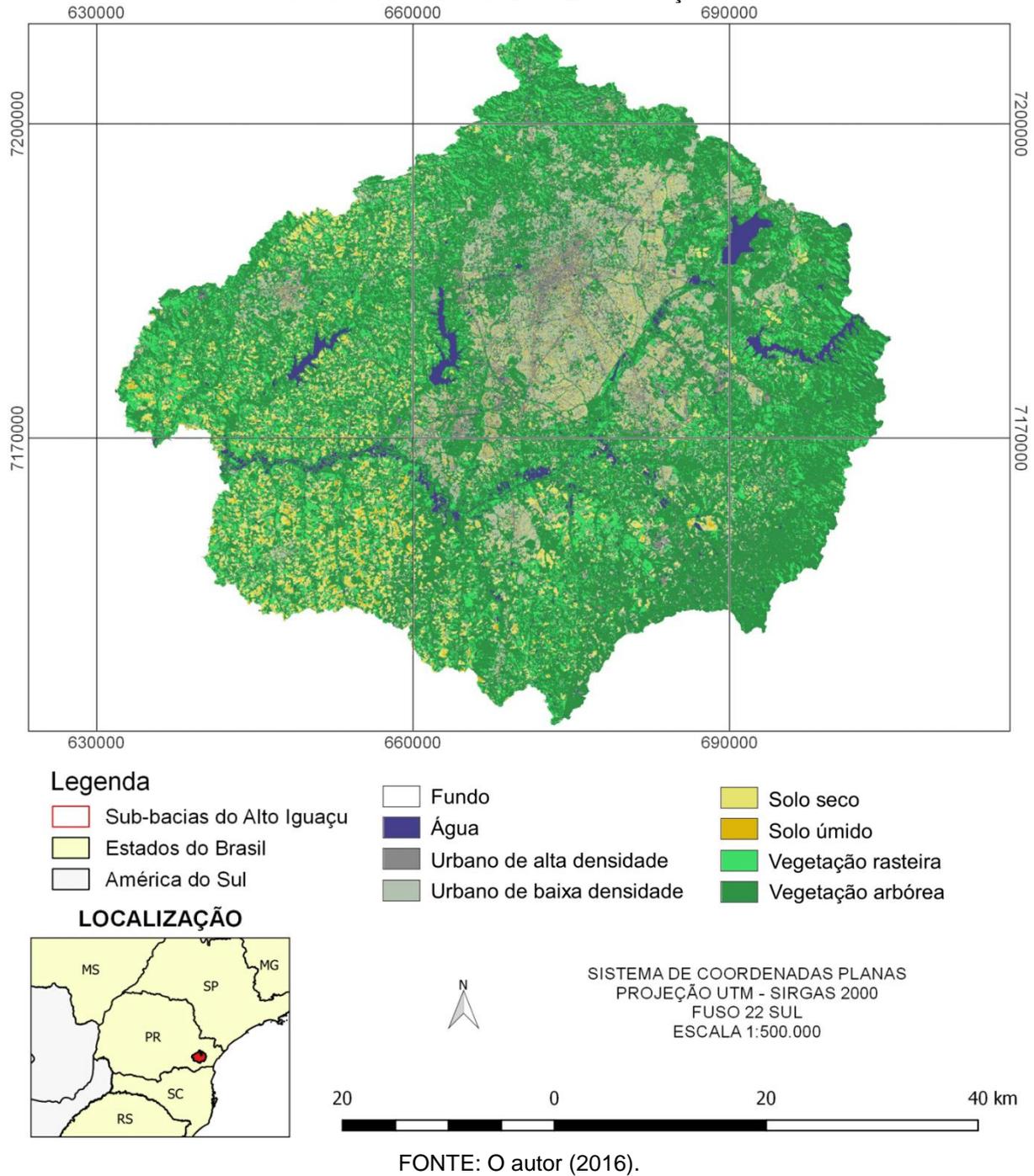
FIGURA 26 - IMAGEM FUSIONADA DO SATÉLITE LANDSAT 8 OLI PARA A BACIA DO ALTO IGUAÇU - PR



FONTE: O autor (2016).

Após realizar o processo de classificação supervisionada, obteve-se como resultado o mapa indicado na Figura 27.

FIGURA 27 - RESULTADO DA CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA DE IMAGENS EM SOFTWARE QGIS PARA A BACIA DO ALTO IGUAÇU - PR



Novamente, a qualidade do resultado foi avaliada com base na matriz de erros gerada, conforme ilustrado na Figura 28.

FIGURA 28 - MATRIZ DE ERROS OBTIDA EM SOFTWARE QGIS

| > ERROR MATRIX                |          |       |       |       |       |      |      |       |          |
|-------------------------------|----------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|----------|
| > Reference                   |          |       |       |       |       |      |      |       |          |
| V_Classification              | 0.0      | 1.0   | 2.0   | 3.0   | 4.0   | 5.0  | 6.0  | 7.0   | Total    |
| 0.0 Fundo                     | 6185529  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0    | 0    | 0     | 6185529  |
| 1.0 Água                      | 251115   | 79196 | 1226  | 0     | 0     | 0    | 0    | 268   | 331805   |
| 2.0 Urbano de alta densidade  | 512760   | 1263  | 15470 | 1841  | 0     | 764  | 0    | 104   | 532202   |
| 3.0 Urbano de baixa densidade | 1866367  | 20    | 1303  | 15672 | 949   | 82   | 4    | 43    | 1884440  |
| 4.0 Solo seco                 | 849825   | 0     | 601   | 5104  | 12697 | 1113 | 0    | 0     | 869340   |
| 5.0 Solo úmido                | 243208   | 4     | 899   | 2083  | 3145  | 1680 | 0    | 0     | 251019   |
| 6.0 Vegetação rasteira        | 1891697  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0    | 7538 | 547   | 1899782  |
| 7.0 Vegetação arbórea         | 6786770  | 1934  | 669   | 590   | 52    | 4    | 189  | 24887 | 6815095  |
| Total                         | 18587271 | 82417 | 20168 | 25290 | 16843 | 3643 | 7731 | 25849 | 18769212 |

|   |                                    |                              |
|---|------------------------------------|------------------------------|
| Overall accuracy [%] = 33.7929423995            | user accuracy [%] = 100.0          | Kappa hat = 1.0              |
| Class 0.0 producer accuracy [%] = 33.2783064281 | user accuracy [%] = 23.8682358614  | Kappa hat = 0.235324612353   |
| Class 1.0 producer accuracy [%] = 96.0918257156 | user accuracy [%] = 2.90679103047  | Kappa hat = 0.0280234966064  |
| Class 2.0 producer accuracy [%] = 76.7056723522 | user accuracy [%] = 0.831652904842 | Kappa hat = 0.0069785126514  |
| Class 3.0 producer accuracy [%] = 61.9691577699 | user accuracy [%] = 1.46053327812  | Kappa hat = 0.0137202711455  |
| Class 4.0 producer accuracy [%] = 75.384432702  | user accuracy [%] = 0.669272047136 | Kappa hat = 0.00649988760712 |
| Class 5.0 producer accuracy [%] = 46.1158385946 | user accuracy [%] = 0.396782367661 | Kappa hat = 0.0035573910058  |
| Class 6.0 producer accuracy [%] = 97.5035571077 | user accuracy [%] = 0.365174660074 | Kappa hat = 0.00227768123147 |
| Class 7.0 producer accuracy [%] = 96.2783860111 |                                    |                              |
| Kappa hat classification = 0.0159592670079      |                                    |                              |

FONTE: O autor (2016).

Inicialmente, verifica-se que houve uma grande disparidade entre a quantidade de pixels amostrados em cada classe de interesse, sobretudo no solo úmido, representado por 243.208 pixels, de um total de 18.587.271. Provavelmente, este fato contribuiu para a redução do índice Kappa deste alvo, tendo apresentando um dos menores valor entre as classes, com aproximadamente 0,65%.

Além disso, é possível observar que os maiores problemas quanto à identificação do solo úmido estão associados com as áreas urbanas, em conjunto com o solo seco. Um dos motivos para ter ocorrido esta confusão diz respeito às características da imagem utilizada, em que se observa uma grande discrepância entre as dimensões de cada objeto.

Considerando que a dimensão das zonas alagadiças varia conforme o regime de chuvas e o relevo da região, tem-se mais um fator que pode contribuir com a redução na acurácia da classificação do solo úmido. Assim, a determinação exata das áreas úmidas torna-se complicada quando se utiliza exclusivamente o processo de classificação supervisionada. Por conseguinte, os erros observados na identificação desta classe podem se refletir em imprecisões no mapeamento das *wetlands*.

Por ser bastante urbanizada, a bacia do Alto Iguaçu possui imensos fragmentos pertencentes às duas classes urbanas, sendo muito superiores, em tamanho, do que as outras classes, principalmente as áreas úmidas, que são bem mais reduzidas. Desta forma, o processo de classificação da imagem torna-se extremamente complexo, uma vez que ocorre o comprometimento de sua acurácia em duas situações antagônicas: quando se amostram muitos pixels de cada classe e quando se amostram poucos.

Com o intuito de solucionar a confusão, a amostragem foi repetida de diversas formas distintas, através da coleta de frações equivalentes de cada classe. Para tanto, considerou-se o fato de que a condição ideal de amostragem está fundamentada na aquisição de quantidades semelhantes de pixels por classe de interesse. Porém, ao coletar um número maior de amostras relativas ao solo úmido, houve um agravamento ainda maior na qualidade da classificação, pois este alvo passou a ser superestimado, dominando quase que a totalidade da paisagem, principalmente nas áreas em que ocorrem os fragmentos urbanos.

Além da existência de um comportamento espectral parecido entre estas classes, verificou-se que não existem muitas porções de solo úmido na imagem avaliada. Por isso, quando se coleta um intervalo mais abrangente de tonalidades, aceitando que haja uma maior variação espectral do solo úmido, o classificador interpreta que as áreas urbanas também fazem parte das zonas úmidas.

Por outro lado, a tentativa de redução das amostras em cada classe gerou o resultado oposto, ilustrado por uma subestimativa das áreas úmidas, novamente confundidas com fragmentos urbanizados. Sendo assim, depois de vários testes de amostragem, incluindo a mudança no algoritmo de classificação, optou-se por associar outras fontes de informação geográfica com o resultado inicial, no qual também foram realizados diversos experimentos de ajuste semelhantes.

A primeira sobreposição ocorreu com base no arquivo vetorial contendo a delimitação dos corpos hídricos de pequena profundidade presentes na bacia do Alto Iguaçu. Em seguida, foram acrescentadas as camadas referentes à geologia e à geotecnia da área de estudo, em conjunto com os polígonos das massas de água do Brasil. Por fim, adicionou-se o contorno da unidade de conservação das várzeas do rio Iguaçu, de modo que cada *shapefile* foi adequado ao propósito da pesquisa, desconsiderando-se os dados que não se relacionavam com as zonas alagáveis. Desta forma, foi possível obter o mapa indicado em anexo, que representa, de forma aproximada, as áreas alagáveis nas quais as *wetlands* da bacia do Alto Iguaçu estão inseridas. Dentro deste arquivo vetorial, estão incluídas 10 categorias que já estavam contidas nos *shapefiles* utilizados: açude/represa; águas rasas; alagado/mangue; aluviões; canal; cava; lago/lagoa; planícies de terrenos aluvionares; tanque; e terraços aluvionares.

Apesar de o processo de classificação supervisionada não ter apresentado sua máxima precisão, é possível utilizar o resultado obtido, após a sobreposição de camadas, para analisar a distribuição aproximada das áreas alagáveis presentes na bacia do Alto Iguaçu. Porém, para que se obtenham valores mais precisos, seria necessária a realização

de pesquisas mais aprofundadas em dinâmica de inundações e geomorfologia do solo, uma vez que a presença de *wetlands* está associada ao relevo e sujeita a variações sazonais.

## 6 CONCLUSÕES

Durante a elaboração do presente trabalho, verificou-se que há uma certa dificuldade na utilização exclusiva de imagens de sensoriamento remoto, uma vez que estas não representam, de forma completa, a realidade de uma determinada cena. Isto se deve ao fato de que as imagens orbitais são capazes de adquirir apenas as porcentagens de radiação eletromagnética que cada objeto consegue refletir, para diferentes faixas de comprimento de onda.

Além disso, o comportamento espectral dos alvos é influenciado por diversos fatores, responsáveis por modificar significativamente a sua reflectância e, conseqüentemente, o modo como são percebidos na imagem. Em geral, estes fatores se caracterizam pela turbidez, pelo conteúdo de água presente no terreno, pela composição de minerais e matéria orgânica, pelo ângulo de iluminação e observação, entre outros.

Desta forma, ficam ocultadas quaisquer informações adicionais sobre os objetos da superfície terrestre, isto é, que não dizem respeito à dinâmica de reflexão da energia incidente. Conclui-se, portanto, que as análises de imagens de sensoriamento remoto devem ser aplicadas em conjunto com mais técnicas que levem em consideração outros dados geográficos. Desta forma, devem ser avaliadas as informações que são necessárias para o propósito de cada pesquisa.

Neste caso, optou-se pela articulação entre as técnicas de classificação supervisionada de imagens orbitais e de sobreposição de camadas vetoriais para o mapeamento das áreas alagáveis na bacia do Alto Iguaçu. Assim, foi possível gerar um mapa temático de cobertura do solo contendo a delimitação das *wetlands*, disponibilizado gratuitamente através da publicação em nuvem. A acurácia global do processo de classificação foi de aproximadamente 33,79%, sendo que as imprecisões, tanto da imagem classificada quanto do mapa final, podem ser justificadas pelos seguintes fatores:

- i. as diferenças de escala cartográfica dos arquivos vetoriais utilizados;
- ii. a disparidade entre as dimensões dos alvos de interesse;
- iii. a resolução espacial mediana das imagens orbitais;
- iv. e a sobreposição de classes espectrais.

Tendo isso em vista, foram elencadas seis estratégias que poderiam melhorar o refinamento do resultado obtido, caso estas informações estivessem disponíveis de forma gratuita: (a) utilização de imagens de satélite com maior resolução espacial; (b) realização de pesquisas mais aprofundadas em dinâmicas de inundações; (c) incorporação de arquivos contendo a geomorfologia do solo e/ou modelos digitais de elevação; (d) execução

de análises multitemporais em mapas distintos de uso e ocupação da terra; (e) confirmação da amostragem e/ou dos resultados por meio de levantamentos de campo; (f) e associação de mapas de cobertura vegetal, com o intuito de facilitar a identificação das *wetlands*.

Portanto, a integração de ferramentas poderia viabilizar a elaboração de um diagnóstico completo sobre as áreas úmidas na bacia do Alto Iguaçu. Então, com base neste inventário, os gestores ambientais seriam capazes de identificar quais as regiões que se encontram mais degradadas, otimizando assim a destinação de recursos financeiros.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

Considerando a complexidade que governa o funcionamento dos ecossistemas naturais, pode-se dizer que, em muitos casos, não existe uma solução trivial para os diversos questionamentos levantados. Porém, com o advento das geotecnologias livres, surgiram novas oportunidades, não apenas para os gestores ambientais, mas para todos os interessados. Neste contexto, estão inseridas as inúmeras ferramentas de apoio ao planejamento estratégico e ao processo de tomada de decisão e gestão de ecossistemas, que podem ser aplicadas em uma série de estudos importantes, como no exemplo de *wetlands*. Assim, é possível otimizar o planejamento urbano com base em instrumentos gratuitos que apresentam um grande potencial de utilização no monitoramento ambiental.

Como recomendações para os trabalhos futuros, sugere-se a realização de levantamentos em campo para comprovação dos resultados, quando possível. Além disso, aconselha-se que sejam realizados o maior número possível de testes de pré-processamento de imagens e tratamento preliminar de dados geográficos, de modo a se obter um resultado preciso. Por fim, recomenda-se que sejam desenvolvidos projetos de forma integrada, isto é, em conjunto com experiências já concretizadas, sempre com vistas ao compartilhamento de informações.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKLILU, N. *Toddling to Cope With Climate Change: The Case of Ethiopia*. 2010. 23 p. Disponível em: <<https://goo.gl/yLZO1n>>. Acesso em: 17 out. 2016.

ANTHEUNISSE, A. M. *et al.* Regional differences in nutrient limitation in floodplains of selected European rivers: implications for rehabilitation of characteristic floodplain vegetation. *River Research and Applications*, v. 22, n. 9, p. 1039-1055, nov. 2006. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/rra.956/epdf>>. Acesso em: 14 dez. 2016.

BELUCO, A. *Classificação de Imagens de Sensoriamento Remoto baseada em textura por Redes Neurais*. 2002. 154 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Disponível em: <[http://www.ufrgs.br/srm/ppgsr/publicacoes/Dissert\\_AdrinoBeluco.pdf](http://www.ufrgs.br/srm/ppgsr/publicacoes/Dissert_AdrinoBeluco.pdf)>. Acesso em: 19 jun. 2016.

BIRDLIFE INTERNATIONAL. *In Nigeria, the BirdLife partner is assisting wetland restoration to safeguard ecosystem services*. 2010. Disponível em: <<http://www.birdlife.org/datazone/sowb/casestudy/36>>. Acesso em: 14 out. 2016.

BIRDLIFE INTERNATIONAL. *Sites - Important Bird and Biodiversity Areas (IBAs): Hadejia-Nguru wetlands*. 2016. Disponível em: <<http://www.birdlife.org/datazone/sitefactsheet.php?id=6754>>. Acesso em: 17 out. 2016.

BOYI, M. G.; POLET, G. Birdlife under water stress: the case of the Hadejia-Nguru Wetlands, Northern Nigeria. In: BEILFUSS, R. D.; TARBOTON, W. R.; GICHUKI, N. N. *African crane and wetland training workshop*. 1996. p. 147-152. Disponível em: <<https://www.savingcranes.org/wp-content/uploads/2008/05/pp147-152.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2016.

BRASIL. *Decreto n. 2.519, de 16 de março de 1998*. Promulga a Convenção sobre Diversidade Biológica, assinada no Rio de Janeiro, em 05 de junho de 1992. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/1998/anexos/and2519-98.pdf](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1998/anexos/and2519-98.pdf)>. Acesso em: 14 set. 2016.

BRASIL. *Lei n. 9.985, de 18 de julho de 2000*. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VIII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LIS/L9985.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LIS/L9985.htm)>. Acesso em: 08 nov. 2016.

BRASIL. Ministério das Cidades. Programa Nacional de Capacitação das Cidades. *Conceitos de Geoprocessamento*. Niterói: Universidade Federal Fluminense, 2014. 71 p. Disponível em: <<http://www.capacidades.gov.br/blog/download/id/38/post/410/midia/9901>>. Acesso em: 10 jun. 2016.

CELEBI, O. C. *Neural Networks and Pattern Recognition Using MATLAB*. 2003. Disponível em: <[http://www.byclb.com/TR/Tutorials/neural\\_networks/ch4\\_1.htm](http://www.byclb.com/TR/Tutorials/neural_networks/ch4_1.htm)>. Acesso em: 20 jun. 2016.

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA - CATIE. *Draft Principles and Guidelines for Integrating Ecosystem-based Approaches to Adaptation in Project and Policy Design*. 2011. 30 p. Disponível em: <[portals.iucn.org/library/efiles/documents/2011-063.pdf](http://portals.iucn.org/library/efiles/documents/2011-063.pdf)>. Acesso em: 13 out. 2016.

CITY OF NEW ORLEANS. *New Orleans Mayor Mitch Landrieu & City Officials Join 100 Resilient Cities In Celebrating First Anniversary Of Resilient New Orleans, World's First Comprehensive Resilience Strategy*. 2016. Disponível em: <<http://nola.gov/mayor/press-releases/2016/20160912-pr-resilient-new-orleans-one-year-progres/>>. Acesso em: 13 out. 2016.

CITY OF NEW ORLEANS. Resilience: Living with water and natural hazards. In: CITY OF NEW ORLEANS. *Plan for the 21<sup>st</sup> Century: New Orleans 2030*. 2010. p. 12.1-12.20. Disponível em: <<http://www.nola.gov/getattachment/8107438c-17ec-4165-93e5-248efc418d32/Vol-2-Ch-12-Resilience/>>. Acesso em: 12 out. 2016.

CITY OF NEW ORLEANS. *Resilient New Orleans: Strategic actions to shape our future city*. 2015. 90 p. Disponível em: <[http://resilientnola.org/wp-content/uploads/2015/08/Resilient\\_New\\_Orleans\\_Strategy.pdf](http://resilientnola.org/wp-content/uploads/2015/08/Resilient_New_Orleans_Strategy.pdf)>. Acesso em: 10 out. 2016.

CONVENTION ON BIOLOGICAL DIVERSITY - CBD. *Connecting Biodiversity and Climate Change Mitigation and Adaptation*. 2009. Disponível em: <<https://www.cbd.int/doc/publications/cbd-ts-41-en.pdf>>. Acesso em: 21 set. 2016.

CONVENTION ON BIOLOGICAL DIVERSITY - CBD. *List of Parties*. 2015. Disponível em: <<https://www.cbd.int/information/parties.shtml>>. Acesso em: 02 out. 2016.

COORDENAÇÃO DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA - COMEC. *PAC 2 - Drenagem*. 2015. Disponível em: <<http://www.comec.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=149>>. Acesso em: 18 dez. 2016.

COORDENAÇÃO DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA - COMEC. *Plano de Desenvolvimento Integrado da Região Metropolitana de Curitiba*. 2006. 305 p. Disponível em: <[http://www.comec.pr.gov.br/arquivos/File/PDI\\_2006.pdf](http://www.comec.pr.gov.br/arquivos/File/PDI_2006.pdf)>. Acesso em: 05 nov. 2016.

COORDENAÇÃO DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA - COMEC. *Região Metropolitana de Curitiba*. 2015. 89 p. Disponível em: <[http://www.comec.pr.gov.br/arquivos/File/RMC/Revista\\_SET\\_2015.pdf](http://www.comec.pr.gov.br/arquivos/File/RMC/Revista_SET_2015.pdf)>. Acesso em: 11 nov. 2016.

DAVIS, B. E. *GIS: A Visual Approach*. 2 ed. Canadá: Cengage Learning, 2001. 438 p.

DEPARTMENT OF CONSERVATION IN NEW ZEALAND. *The economic values of Whangamarino Wetland*. 2007. 8 p. Disponível em: <<http://www.doc.govt.nz/Documents/conservation/threats-and-impacts/benefits-of-conservation/economic-values-whangamarino-wetland.pdf>>. Acesso em: 13 ago. 2016.

EPSILON INTERNATIONAL R&D. *A Climate Change Country Assessment Report for Ethiopia*. 2011. 33 p. Disponível em: <[http://sv.care.dk/files/RC\\_-\\_Assessment\\_Reports/Ethiopia\\_Country\\_Assessment\\_Report\\_ECSNCC.pdf](http://sv.care.dk/files/RC_-_Assessment_Reports/Ethiopia_Country_Assessment_Report_ECSNCC.pdf)>. Acesso em: 21 out. 2016.

EUROPEAN SPACE AGENCY. *Exercício 1: Apresentação de imagens de satélite*. 2014. Disponível em: <[http://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace\\_Disasters\\_PT/SEMFOXKE9QH\\_](http://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_Disasters_PT/SEMFOXKE9QH_)>

2.html>. Acesso em: 22 jun. 2016.

FUNDAÇÃO GRUPO BOTICÁRIO DE PROTEÇÃO À NATUREZA. *Adaptação Baseada em Ecossistemas: Oportunidades para políticas públicas em mudanças climáticas*. 2. ed. Curitiba, 2015. 82 p. Disponível em: <<https://goo.gl/55nfHf>>. Acesso em: 08 out. 2016.

GREAT FEN. *Introduction: What is the Great Fen?* 2016. Disponível em: <<http://www.greatfen.org.uk/about/introduction>>. Acesso em: 19 out. 2016.

GROHMANN, C. H. *Introdução à Análise Digital de Terreno com GRASS-GIS*. São Paulo, 2008. 99 p. Disponível em: <[http://www.igc.usp.br/pessoais/guano/downloads/tutorial\\_grass6.pdf](http://www.igc.usp.br/pessoais/guano/downloads/tutorial_grass6.pdf)>. Acesso em: 11 jun. 2016.

HOVE, H.; PARRY, J. Maintenance of Hydropower Potential in Rwanda Through Ecosystem Restoration. *World Resources Report*, Washington, p. 1-13, jun. 2011. Disponível em: <[http://www.iisd.org/sites/default/files/publications/maintenance\\_hydro\\_rwanda.pdf](http://www.iisd.org/sites/default/files/publications/maintenance_hydro_rwanda.pdf)>. Acesso em: 03 ago. 2016.

HUMBOLDT STATE UNIVERSITY. *Natural and False Color Composites*. 2015. Disponível em: <[http://gsp.humboldt.edu/olm\\_2015/Courses/GSP\\_216\\_Online/lesson3-1/composites.html](http://gsp.humboldt.edu/olm_2015/Courses/GSP_216_Online/lesson3-1/composites.html)>. Acesso em: 19 dez. 2016.

INFORMATION SERVICES DEPARTMENT - COUNTY OF SAN BERNARDINO. *Geographic Information System*. 2012. Disponível em: <<http://www.sbcounty.gov/isd/main/services/gis.aspx>>. Acesso em: 19 dez. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. *Perfil Hidrografia: Base Cartográfica Contínua do Brasil 1:1.000.000*. 2016. 5 p. Disponível em: <[ftp://geofp.ibge.gov.br/cartas\\_e\\_mapas/bases\\_cartograficas\\_continuas/bcim/versao2016/shapefile/BCIM\\_HID\\_versao2016.zip](ftp://geofp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/bases_cartograficas_continuas/bcim/versao2016/shapefile/BCIM_HID_versao2016.zip)>. Acesso em: 16 dez. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS/SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS/INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ - IBAMA/SEMA/IAP. *Resolução conjunta n. 005, de 28 de março de 2008*. Define critérios para avaliação das áreas úmidas e seus entornos protetivos, normatiza sua conservação e estabelece condicionantes para o licenciamento das atividades nelas permissíveis no Estado do Paraná. Disponível em: <[http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Legislacao\\_ambiental/Legislacao\\_estadual/RESOLUCOES/RESOLUCAO\\_CONJUNTA\\_IBAMA\\_SEMA\\_IAP\\_005\\_2008.pdf](http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Legislacao_ambiental/Legislacao_estadual/RESOLUCOES/RESOLUCAO_CONJUNTA_IBAMA_SEMA_IAP_005_2008.pdf)>. Acesso em: 14 dez. 2016.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE - ICMBio. *Perfil de Metadados Geoespaciais Brasileiro*. 2015. 2 p. Disponível em: <[http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/servicos/geoprocessamento/DCOL/dados\\_tabulares/Metadados/metadados\\_out\\_2015.zip](http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/servicos/geoprocessamento/DCOL/dados_tabulares/Metadados/metadados_out_2015.zip)>. Acesso em: 16 dez. 2016.

INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E GEOCIÊNCIAS - ITCG. *Relatório de cálculo de área dos municípios do Estado do Paraná - Ano 2015*. Disponível em: <[http://www.itcg.pr.gov.br/arquivos/File/Produtos\\_DGEO/Divisas\\_Municipais/2015/relatorio\\_calculodeareamunicipios2015.pdf](http://www.itcg.pr.gov.br/arquivos/File/Produtos_DGEO/Divisas_Municipais/2015/relatorio_calculodeareamunicipios2015.pdf)>. Acesso em: 20 dez. 2016.

INTERNATIONAL COMMISSION FOR THE PROTECTION OF THE DANUBE RIVER - ICPDR. *Ten years of the Green Corridor*. 2010. Disponível em: <<http://www.icpdr.org/main/publications/ten-years-green-corridor>>. Acesso em: 07 out. 2016.

IWAMURA, L. Y. *Proposta de revitalização paisagística de cavas da bacia do rio Iguaçu na Região Metropolitana de Curitiba*. 2011. 127 p. Tese (Mestrado em Engenharia - Área de Concentração: Meio Ambiente). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba. Disponível em: <[http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/319/1/CT\\_PPGECC\\_M\\_Iwamura,%20Livia%20Yu%20\\_2011.pdf](http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/319/1/CT_PPGECC_M_Iwamura,%20Livia%20Yu%20_2011.pdf)>. Acesso em: 28 mai. 2016.

MARTÍNEZ, A. A. A.; RODRÍGUEZ, J. M.; HERNÁNDEZ, A. C. Los paisajes de humedales, marco conceptual y aspectos metodológicos para su estudio y ordenamiento. *Mercator*, v. 13, n. 2, p. 161-169, mai./ago. 2014. Disponível em: <<http://www.mercator.ufc.br/index.php/mercator/article/view/1352/551>>. Acesso em: 20 dez. 2016.

MATTHEWS, G. V. T. *The Ramsar Convention on Wetlands: its History and Development*. Suíça, 1993. 90 p. Disponível em: <<http://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/pdf/lib/Matthews-history.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2016.

MCLAUGHLIN, D. L.; COHEN, M. J. Realizing ecosystem services: wetland hydrologic function along a gradient of ecosystem condition. *Ecological Applications*, v. 23, n. 7, p. 1619-1631, mar. 2013. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1890/12-1489.1/pdf>>. Acesso em: 17 dez. 2016.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. *Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto*. Brasília, 2012. 276 p. Disponível em: <<http://www.cnpq.br/documents/10157/56b578c4-0fd5-4b9f-b82a-e9693e4f69d8>>. Acesso em: 22 jun. 2016.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. *Áreas Prioritárias para Conservação, Uso Sustentável e Repartição de Benefícios da Biodiversidade Brasileira: Mata Atlântica*. 2007. 879 p. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/estruturas/sbf\\_chm\\_rbbio/\\_arquivos/mata\\_atlantica\\_fichas\\_das\\_areas\\_prioritarias.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/sbf_chm_rbbio/_arquivos/mata_atlantica_fichas_das_areas_prioritarias.pdf)>. Acesso em: 10 nov. 2016.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. *Áreas Prioritárias para a Conservação, Uso Sustentável e Repartição de Benefícios da Biodiversidade Brasileira: Atualização - Portaria MMA nº 09, de 23 de janeiro de 2007*. 2007. 301 p. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/estruturas/chm/\\_arquivos/biodiversidade31.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/chm/_arquivos/biodiversidade31.pdf)>. Acesso em: 12 nov. 2016.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. *Biodiversidade Brasileira: Avaliação e identificação de áreas e ações prioritárias para conservação, utilização sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade nos biomas brasileiros*. 2002. 404 p. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/estruturas/chm/\\_arquivos/Bio5.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/chm/_arquivos/Bio5.pdf)>. Acesso em: 13 nov. 2016.

MITSCH, W. J.; GOSELINK, J. G. *Wetlands*. New Jersey: John Wiley & Sons. 2015. 747 p. Disponível em: <[https://ia801301.us.archive.org/6/items/Wetlands\\_5th\\_Edition\\_by\\_William\\_J.\\_Mitsch\\_James\\_G.\\_Gosselink/Wetlands\\_5th\\_Edition\\_by\\_William\\_J.\\_Mitsch\\_James\\_G.\\_Gosselink.pdf](https://ia801301.us.archive.org/6/items/Wetlands_5th_Edition_by_William_J._Mitsch_James_G._Gosselink/Wetlands_5th_Edition_by_William_J._Mitsch_James_G._Gosselink.pdf)>. Acesso em: 16 dez. 2016.

MONTEIRO, R. C. M. *Viabilidade técnica do emprego de sistemas tipo "wetlands" para tratamento de água cinza visando o reúso não potável*. 2009. 84 p. Dissertação (Mestrado

em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: <[http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-09032009-110147/publico/dissertacao\\_rodrigo\\_monteiro\\_wetlands.pdf](http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-09032009-110147/publico/dissertacao_rodrigo_monteiro_wetlands.pdf)>. Acesso em: 15 dez. 2016.

NATIONAL METEOROLOGICAL AGENCY OF ETHIOPIA. *Climate Change National Adaptation Programme of Action (NAPA) of Ethiopia*. 2007. 96 p. Disponível em: <<http://unfccc.int/resource/docs/napa/eth01.pdf>>. Acesso em: 09 out. 2016.

NEIFF, J. J. El regimen de pulsos en rios y grandes humedales de Sudamerica. In: THE UNITED NATIONS ORGANIZATION FOR EDUCATION, SCIENCE AND CULTURE - UNESCO. *Temas sobre humedales subtropicales y templados de Sudamerica*. 1999. p. 99-149. Disponível em: <<http://unesdoc.unesco.org/images/0015/001502/150270s.pdf>>. Acesso em: 14 dez. 2016.

NETHERCOTT, Q. T.; WALTON, M. E. *Obtaining the speed of light using the Foucault Method and the PASCO apparatus*. Utah: 2013. 10 p. Disponível em: <<http://www.physics.utah.edu/~ewalton/Light.pdf>>. Acesso em: 24 jun. 2016.

QGIS PROJECT. *QGIS User Guide: Versão 1.8*. 2014. 273 p. Disponível em: <[http://docs.qgis.org/1.8/pdf/QGIS-1.8-UserGuide-pt\\_BR.pdf](http://docs.qgis.org/1.8/pdf/QGIS-1.8-UserGuide-pt_BR.pdf)>. Acesso em: 16 abr. 2016.

ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO - OCDE. *Integração da Adaptação às Alterações Climáticas na Cooperação para o Desenvolvimento: Guia para o desenvolvimento de políticas*. 2011. 209 p. Disponível em: <[www.oecdbookshop.org/get-it.php?REF=5KGHSG2GVNS4&TYPE=browse](http://www.oecdbookshop.org/get-it.php?REF=5KGHSG2GVNS4&TYPE=browse)>. Acesso em: 18 out. 2016.

PARANÁ. *Decreto n. 3.742, de 12 de novembro de 2008*. Declara a Área de Interesse Especial Regional do Iguazu na Região Metropolitana de Curitiba e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.comec.pr.gov.br/arquivos/File/DE\\_3742\\_2008.pdf](http://www.comec.pr.gov.br/arquivos/File/DE_3742_2008.pdf)>. Acesso em: 12 nov. 2016.

PARANÁ. Instituto das Águas do Paraná - AGUASPARANÁ. *Bacias Hidrográficas do Paraná*. 2007. Disponível em: <[http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/DADOS%20ESPACIAIS/Bacias\\_Hidrograficas\\_A4.pdf](http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/DADOS%20ESPACIAIS/Bacias_Hidrograficas_A4.pdf)>. Acesso em: 10 abr. 2016.

PARANÁ. Instituto das Águas do Paraná - AGUASPARANÁ. *Plano Estadual de Recursos Hídricos do Paraná - PLERH/PR*. 2010. Disponível em: <[http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/PLERH/resumo\\_executivo\\_PLERH.pdf](http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/PLERH/resumo_executivo_PLERH.pdf)>. Acesso em: 15 abr. 2016.

PARANÁ. Instituto das Águas do Paraná - AGUASPARANÁ. *Sub-bacias do Alto Iguazu*. 2000. Disponível em: <<http://www.aguasparana.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=90>>. Acesso em: 08 abr. 2016.

PARANÁ. Instituto das Águas do Paraná - AGUASPARANÁ. *Unidades Hidrográficas do Paraná*. 2007. Disponível em: <[http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/DADOS%20ESPACIAIS/Unidades\\_Hidrograficas\\_A4.pdf](http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/DADOS%20ESPACIAIS/Unidades_Hidrograficas_A4.pdf)>. Acesso em: 11 abr. 2016.

PARANÁ. Conselho Estadual de Recursos Hídricos - CERH/PR. *Plano das Bacias do Alto Iguazu e Afluentes do Alto Ribeira*. Capítulo 2 - Introdução; Capítulo 3 - Caracterização Fisiográfica. Disponível em: <<http://www.recursoshidricos.pr.gov.br/arquivos/File/COALIAR>>

/Publicacoes/plano\_de\_bacias/cap02\_03\_introducao.pdf>. Acesso em: 21 abr. 2016.

PARANÁ. Conselho Estadual de Recursos Hídricos - CERH/PR. *Resolução nº 49, de 20 de dezembro de 2006*. Dispõe sobre a instituição de Regiões Hidrográficas, Bacias Hidrográficas e Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado do Paraná. Disponível em: <<http://www.recursoshidricos.pr.gov.br/arquivos/File/r492006.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2016.

PARANÁ. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos - SEMA. *Bacias Hidrográficas do Paraná: série histórica*. Curitiba, 2010. 140 p. Disponível em: <[http://www.meioambiente.pr.gov.br/arquivos/File/corh/Revista\\_Bacias\\_Hidrograficas\\_do\\_Parana.pdf](http://www.meioambiente.pr.gov.br/arquivos/File/corh/Revista_Bacias_Hidrograficas_do_Parana.pdf)>. Acesso em: 22 mai. 2016.

PUENTE, L. *et al.* Biometrical Fusion - Input Statistical Distribution. In: CHETTY, G.; YANG, J. *Advanced Biometric Technologies*. Croácia: InTech, 2011. p. 87-110. Disponível em: <<http://www.intechopen.com/download/pdf/17742>>. Acesso em: 20 jun. 2016.

RAMSAR CONVENTION. *The Convention on Wetlands text, as originally adopted in 1971*. 1971. 5 p. Disponível em: <[http://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/original\\_1971\\_convention\\_e.pdf](http://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/original_1971_convention_e.pdf)>. Acesso em: 14 dez. 2016.

SANTOS, J. *QGIS 2.4: Sistemas de Referência de Coordenadas (SRC)*. 2014. 21 p. Disponível em: <[http://www.processamentodigital.com.br/wp-content/uploads/2014/10/20141011\\_QGIS24\\_Sistema\\_de\\_Referencia\\_de\\_Coordenadas.pdf](http://www.processamentodigital.com.br/wp-content/uploads/2014/10/20141011_QGIS24_Sistema_de_Referencia_de_Coordenadas.pdf)>. Acesso em: 07 mai. 2016.

SERAFINI, L. Z. *Proteção jurídica das áreas úmidas e os direitos socioambientais*. 2007. 164 p. Tese (Mestrado em Direito). Programa de Pós-Graduação em Direito, Pontifícia Universidade Católica, Curitiba. Disponível em: <<http://www.dominiopublico.gov.br/download/teste/arqs/cp024867.pdf>>. Acesso em: 13 jun. 2016.

SLUTER, C. R. Uma abordagem sistêmica para o desenvolvimento de projeto cartográfico como parte do processo de comunicação cartográfica. *Portal da Cartografia*, Londrina, v. 1, n. 1, p. 1-20, mai./ago. 2008. Disponível em: <[http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/porta\\_lcartografia/article/view/1365/1084](http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/porta_lcartografia/article/view/1365/1084)>. Acesso em: 15 abr. 2016.

TASSI, R. *Gerenciamento hidroambiental de terras úmidas*. 2008. 257 p. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/14057/000656969.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 15 jun. 2016.

THE UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION - UNISDR. *Como Construir Cidades Mais Resilientes - Um Guia para Gestores Públicos Locais*. Genebra: Escritório das Nações Unidas para Redução de Riscos de Desastres. 2012. 98 p. Disponível em: <[http://www.unisdr.org/files/26462\\_guiagestorespublicosweb.pdf](http://www.unisdr.org/files/26462_guiagestorespublicosweb.pdf)>. Acesso em: 13 out. 2016.

TOCKNER, K.; STANFORD, J. A. Riverine flood plains: present state and future trends. *Environmental Conservation*, v. 29, n. 3, p. 308-330, abr. 2002. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Klement\\_Tockner3/publication/231961185\\_Riverine](https://www.researchgate.net/profile/Klement_Tockner3/publication/231961185_Riverine)>

\_Flood\_Plains\_Present\_State\_and\_Future\_Trends/links/0deec534c2f6d18513000000.pdf  
>. Acesso em: 14 dez. 2016.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE - UNFCCC. *Ethiopia association with the Copenhagen Accord*. 2010. 5 p. Disponível em: <[http://unfccc.int/files/meetings/cop\\_15/copenhagen\\_accord/application/pdf/ethiopiaccphac\\_cord\\_app2.pdf](http://unfccc.int/files/meetings/cop_15/copenhagen_accord/application/pdf/ethiopiaccphac_cord_app2.pdf)>. Acesso em: 21 out. 2016.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY - USGS. *Landsat Missions*. 2016. Disponível em: <[http://landsat.usgs.gov/band\\_designations\\_landsat\\_satellites.php](http://landsat.usgs.gov/band_designations_landsat_satellites.php)>. Acesso em: 11 jun. 2016.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY - USGS. *LandsatLook Viewer*. 2016. Disponível em: <<http://landsatlook.usgs.gov/>>. Acesso em: 05 jun. 2016.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY - USGS. *Spectral Characteristics Viewer*. 2015. Disponível em: <[http://landsat.usgs.gov/tools\\_spectralViewer.php](http://landsat.usgs.gov/tools_spectralViewer.php)>. Acesso em: 14 ago. 2016.

VERHOEVEN, J. T. A. *et al.* An Operational Landscape Unit approach for identifying key landscape connections in wetland restoration. *Journal of Applied Ecology*, v. 45, n. 5, p. 1496-1503, out. 2008. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2664.2008.01534.x/epdf>>. Acesso em: 20 dez. 2016.

WETLANDS INTERNATIONAL. *About the Ruoergai mountain peatlands*. 2005. Disponível em: <<http://archive.wetlands.org/OurWork/ClimateMitigation/Peatlandrestoration/RuoergaiHighMountainPeatlands/AbouttheRuoergaipeatlands/tabid/2285/Default.aspx>>. Acesso em: 22 set. 2016.

WETLANDS INTERNATIONAL. *Restoring and protecting China's Ruoergai high mountain peatlands*. 2005. Disponível em: <<http://archive.wetlands.org/OurWork/ClimateMitigation/Peatlandrestoration/RuoergaiHighMountainPeatlands/tabid/2284/Default.aspx>>. Acesso em: 22 set. 2016.

WETLANDS INTERNATIONAL. *Ruoergai High Altitude Peatlands*. 2005. Disponível em: <[http://archive.wetlands.org/Portals/0/publications/Factsheet/FactSheet\\_Ruoergai.pdf](http://archive.wetlands.org/Portals/0/publications/Factsheet/FactSheet_Ruoergai.pdf)>. Acesso em: 20 set. 2016.

WORLD WIDE FUND FOR NATURE - WWF. *Lower Danube Green Corridor*. 2010. Disponível em: <[http://awsassets.panda.org/downloads/wwf\\_ldgc.pdf](http://awsassets.panda.org/downloads/wwf_ldgc.pdf)>. Acesso em: 05 out. 2016.

YAMAMOTO, C. R. G.; CANALI, N. E. Importância das wetlands para a qualidade das águas na Região Metropolitana de Curitiba - PR. *Revista Geografar*, Curitiba, v. 7, n. 1, p. 161-189, jun. 2012. Disponível em: <<http://revistas.ufpr.br/geografar/article/view/25124/18476>>. Acesso em: 27 mai. 2016.

YAMAMOTO, C. R. G. *Wetlands na Região Metropolitana de Curitiba - PR: diagnóstico, conflitos socioeconômicos e desafios de gestão*. 2011. 213 p. Tese (Doutorado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.