

## **Comparação ótica de NDWI e classificação não supervisionada com resultados de detecção automática de áreas úmidas: estudo de caso cidade de Macapá, Brasil**

### **NDWI optical comparison and non-supervised classification with wetland automatic detection results: case study from the city of Macapá, Brazil**

DOI:10.34117/bjdv7n4-484

Recebimento dos originais: 07/03/2021

Aceitação para publicação: 19/04/2021

#### **Herondino dos Santos Filho**

Mestre em Modelagem Matemática e Computacional

Universidade Federal do Amapá – UNIFAP, Departamento de Ciências Ambientais,  
Macapá, AP-Brasil

E-mail: herondino7@yahoo.com.br

#### **Cecilia Cornero**

Doctora en Ingeniería

Universidad Nacional de Rosario - UNR, Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y  
Agrimensura, Área de Geodinámica y Geofísica, Rosario, Santa Fe-Argentina

E-mail: ccornero@fceia.unr.edu.ar

#### **Ayelen Pereira**

Doctora en Ingeniería

Universidad Nacional de Rosario - UNR, Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y  
Agrimensura, Área de Geodinámica y Geofísica, Rosario, Santa Fe-Argentina

E-mail: apereira@fceia.unr.edu.ar

#### **RESUMO**

A definição dos limites das áreas úmidas são objetos de grande interesse para os governos do mundo. Sua biodiversidade é transitória entre os ecossistemas aquáticos e terrestres, onde 40% da vida existem ou nela é gerada. Estas áreas são responsáveis por abastecer os aquíferos, melhorar a qualidade da água, reter carbono orgânico, regular os ciclos biogeoquímicos e até controlar inundações. Por outro lado, as geotecnologias existentes, como os sistemas de informação geográfica e imagens de satélite, permitem o estudo e monitoramento dessas áreas úmidas. Desta forma, neste trabalho foram utilizadas imagens obtidas por instrumentos ópticos dos satélites Landsat 5 e 7. O seu principal objetivo é a comparação do índice espectral da água NDWI (*Normalized Difference Water Index*) e a classificação não supervisionada com o modelo do contorno resultante da extensão experimental criada no Qgis denominada *Water Plugin* que faz uso de produtos de Radar. A sua análise permitiu a identificação de zonas úmidas antigas, confirmadas pelo estudo de imagens dos anos 1985, 1992 e 2002, que mostram estas áreas que hoje estão ocupadas por moradias, sujeitas a inundações nos períodos de intensas chuvas e aumento da maré, pela baixa topografia do terreno. Também confirmou melhores resultados quando comparando os modelos do *Water Plugin* com o NDWI e a

classificação não supervisionada, já que estes dependem de instrumentos óticos que estão sujeitos a presença de nuvens ou copas de árvores.

**Palavras- claves:** Área úmida, Landsat, NDWI, classificação não supervisionada, *Water plugin*.

## ABSTRACT

The definition of wetland boundaries are objects of great interest to the governments of the world. Its biodiversity is transient between aquatic and terrestrial ecosystems, where 40% of life exists or is generated in it. These areas are responsible for supplying aquifers, improving water quality, retaining organic carbon, regulating biogeochemical cycles and even controlling flooding. On the other hand, existing geotechnologies, such as geographic information systems and satellite images, allow the study and monitoring of these wetlands. Thus, in this work, images obtained by optical instruments from the Landsat 5 and 7 satellites were used. Its main objective is to compare the NDWI water spectral index (Normalized Difference Water Index) and the unsupervised classification with the contour model resulting from the experimental extension created in Qgis called Water Plugin that makes use of Radar products. Its analysis allowed the identification of ancient wetlands, confirmed by the study of images from the years 1985, 1992 and 2002, which show these areas that today are occupied by houses, subject to flooding during periods of intense rain and rising tide, due to the low topography of the terrain. It also confirmed better results when comparing the models of the Water Plugin with the NDWI and the unsupervised classification, as these depend on optical instruments that are subject to the presence of clouds or treetops.

**Keywords:** Wetland, Landsat, NDWI, unsupervised classification, Water plugin

## 1 INTRODUÇÃO

As áreas úmidas pertencem a um dos ecossistemas mais afetados e ameaçados de destruição pelo homem. A convenção internacional de Ramsar, realizada na cidade de mesmo nome em fevereiro de 1971, buscou um tratado intergovernamental com o objetivo inicial de proteger importantes habitats aquáticos para a conservação de aves migratórias. Posteriormente, sua preocupação com as áreas úmidas se estendeu para promover sua conservação e uso sustentável, assim como o bem-estar das populações que dele dependem (MMA, 2020).

Em 1993, o Brasil assinou o acordo da convenção de RAMSAR, mas ele só foi promulgado pelo Decreto nº 1.905, de 16 de maio de 1996, que pressupõe uma política nacional de gestão e proteção inteligente das Áreas Úmidas e de sua biodiversidade.

Internacionalmente, é conhecido pelo termo inglês *Wetland*. São considerados ecossistemas de grande importância para o meio ambiente, pois apresentam diversidade de flora e fauna; Além disso, são responsáveis pelo abastecimento de aquíferos, melhoria da qualidade da água, retenção de carbono orgânico, regulação dos ciclos biogeoquímicos

e até controle de enchentes e regulação do clima (MITSCH y GROSSELINK, 2007; JUNK et al., 2015 apud GOMES y MAGALHÃES JUNIOR, 2018).

A busca pela definição de seus limites tem sido objeto de pesquisas recentes, principalmente com o uso de imagens de radar. O uso de imagens de radar pode ser a melhor alternativa para mapeamento emergencial de áreas alagadas que não possuem mapeamento (MARINHO et al., 2012; SHAN et al., 2010, apud MUÑOZ, 2014) assim como a identificação de redes de drenagens utilizando em conjunto com imagens de satélites (LIMA, 2020), através de seu modelo digital de terreno (LACERDA et al., 2019).

A criação do complemento para o Qgis denominado *Water Plugin* teve como propósito principal a utilização de modelos estatísticos e o uso do modelo digital do terreno, para a detecção automática de Áreas úmidas.

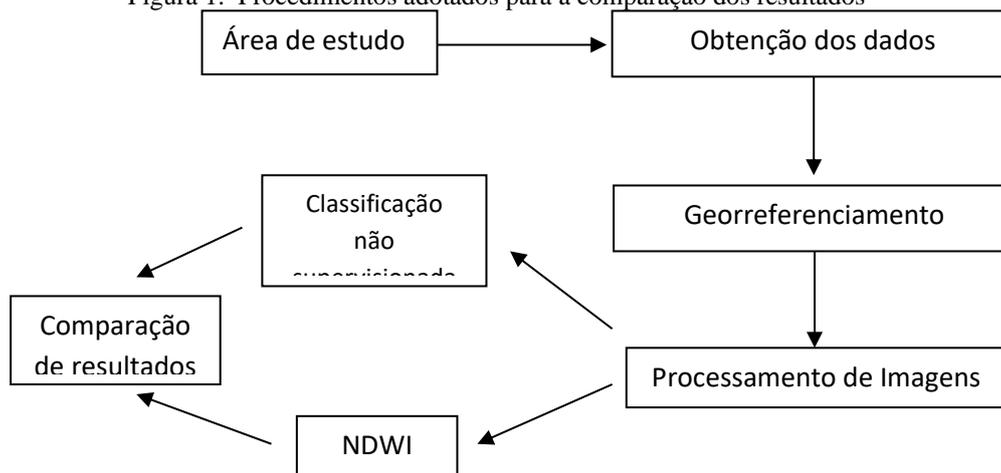
Para isso, foram aplicados diferentes métodos estatísticos utilizados para estimar dados agrupados, como a fórmula de Sturges, a função de referência normal de Scott, o estimador Freedman-Diaconnis, o estimador de raiz quadrada (*Square Root*) entre outros (CAKMAK e CUHADAROGLU, 2018).

O objetivo deste trabalho é comparar os resultados do NWDI e da classificação não supervisionada gerados a partir de imagens ópticas dos satélites Landsat5 e Landsat7 com os modelos gerados pela extensão *Water Plugin* criado na linguagem Phyton do QGIS que faz uso do modelo digital de terreno (MDT) da Base Cartográfica Digital Contínua do Amapá (BCDCA).

## 2 MATERIAS E MÉTODOS

Para alcançar o objetivo proposto foram definidas as seguintes etapas: Área de estudo, coleta de dados, georreferenciamento, processamento de imagens, classificação não supervisionada, geração de NDWI e comparação dos resultados, conforme apresentado na Fig. 1.

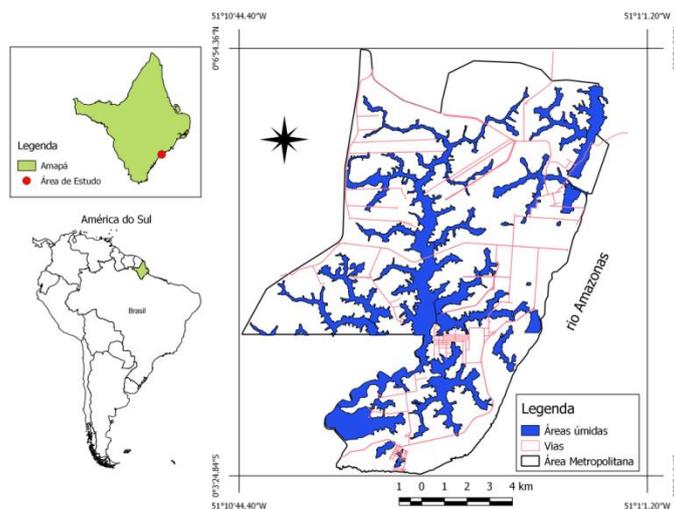
Figura 1. Procedimentos adotados para a comparação dos resultados



## 2.1 DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O perímetro urbano da cidade de Macapá, capital do estado do Amapá, é a área de estudo objeto deste trabalho, conforme apresentado na Figura 2.

Figura 2. Localização da área de estudo – Macapá/AMAPÁ



É importante destacar as características fisiográficas desta capital, localizada às margens do rio Amazonas, onde a baixa altitude típica da planície amazônica se apresenta por suas zonas úmidas, denominadas por seus moradores como "Ressacas" de alto valor ambiental.

## 2.2 AQUISIÇÃO DE DADOS

O produto representativo do Modelo Digital de Terreno (MDT) foi obtido por distribuição gratuita realizada pela Secretaria do Meio Ambiente - SEMA / AP. Os

produtos foram adquiridos de acordo com as especificações do sistema de projeção UTM / SIRGAS 2000, no formato TIF.

A aquisição das imagens de satélite foi feita por meio de cadastro no catálogo de imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE / Brasil). Foram obtidas três imagens: duas do satélite LandSat 5 dos anos de 1985 e 1990 e outra do LandSat 7 do ano de 2002.

### 2.3 GEORREFERENCIAMENTO

As imagens dos satélites LandSat 5 e 7, que possuem 30 metros de resolução, foram escolhidas e submetidas a um novo georreferenciamento tomando como referência uma ortofoto aérea de resolução de 20 centímetros, da mesma base cartográfica do Modelo Digital de Terreno (DTM).

### 2.4 PROCESSAMENTO DE IMAGENS

Da Base Cartográfica do Amapá, quatro imagens MDT foram escolhidas na escala 1: 25.000 de dimensão de 2,5m de pixel, onde foram importadas ao QGIS, para então gerar o mosaico usando a técnica do vizinho mais próximo. O recorte do mosaico permitiu sua visualização e a retirada de sua altimetria para a criação do Modelo Numérico do Terreno (MNT).

As imagens dos satélites Landsat 5 e Landsat 7 tiveram dois tipos de processamento: o primeiro para retirar o índice espectral da água conhecido pelo acrônimo NDWI e outro para a sua classificação não supervisionada.

### 2.5 NDWI

Segundo Gao (1996), o índice espectral da água (*Normalized Difference Water Index - NDWI*) é um bom indicador do teor de água líquida da vegetação e é menos sensível aos efeitos da dispersão atmosférica do que o índice espectral de vegetação o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*). Além disso, esse índice também pode identificar áreas de alta saturação e umidade por meio da análise de imagens de satélite.

O índice espectral da água (NDWI) é dado pela equação:

$$NDWI = \frac{Green - NIR}{Green + NIR}$$

A maioria dos mapas de massas de água disponíveis extraídos de imagens de satélites se baseiam em imagens Landsat, que tem uma resolução espacial de 30 metros (NAMIKAWA, CASTEJON e KÖRTING, 2016). A banda 2 (*Green*) é dada pelo tamanho de onda 0.52  $\mu\text{m}$  até 0.60  $\mu\text{m}$ , do sensor *Enhanced Thematic Mapper plus* (ETM+) do Landsat 7, da mesma maneira que no sensor *Thematic Mapper* (TM) do Landsat 5. A variável NIR (infravermelho próximo) é obtida da banda 4 do sensor ETM+ no Landsat 7 com comprimento de onda entre 0.77  $\mu\text{m}$  até 0.90  $\mu\text{m}$ . No Landsat 5, a banda 4 (NIR) varia entre 0.76  $\mu\text{m}$  e 0.90  $\mu\text{m}$ .

Os valores obtidos a partir do NDWI variam entre -1 e 1, onde representam superfície de água e vegetação com saturação de água ou áreas terrestres com ausência de umidade. O NDWI obtido das imagens dos satélites Landsat em seus sensores ETM+ e TM são respectivamente 0.234 e 0.153 (ROKNI, 2014).

## 2.6 CLASSIFICAÇÃO NÃO SUPERVISIONADA

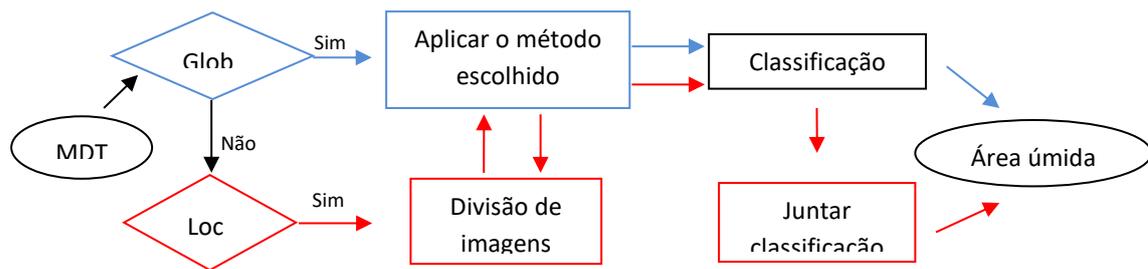
Para a classificação não supervisionada, foi utilizado o software MultiSpec, versão 9.2011 MultiSpec. Trata-se de um sistema de software de análise de dados implementado para computadores como o Windows. O MultiSpec é projetado para a análise de dados de imagens multiespectrais, como os da série Landsat de satélites de observação da Terra ou dados hiperespectrais e outros sistemas que contêm muitas bandas (Landgrebe e Biehl, 2011).

## 2.7 WATER PLUGIN

A extensão Water Plugin tem o modelo digital de terreno (MDT) como principal instrumento na classificação da área úmida. Neste trabalho, foi utilizado o modelo digital de terreno obtido por meio de interferometria aérea com resolução de 2,5m, a partir do espectro da banda P de 72 cm de comprimento. Esse comprimento de onda permite o seu avanço pela copa das árvores e obter informações diretamente do solo. Além disso, esta técnica pode identificar áreas de inundação em espaços urbanos.

O processamento dos dados do Modelo Digital de Terreno foi realizado através do processamento de sua imagem representativa utilizando os modelos desenvolvidos na extensão *Water Plugin*, conforme mostrado no fluxograma da Figura 3.

Figura 3. Diagrama de fluxo do funcionamento do algoritmo

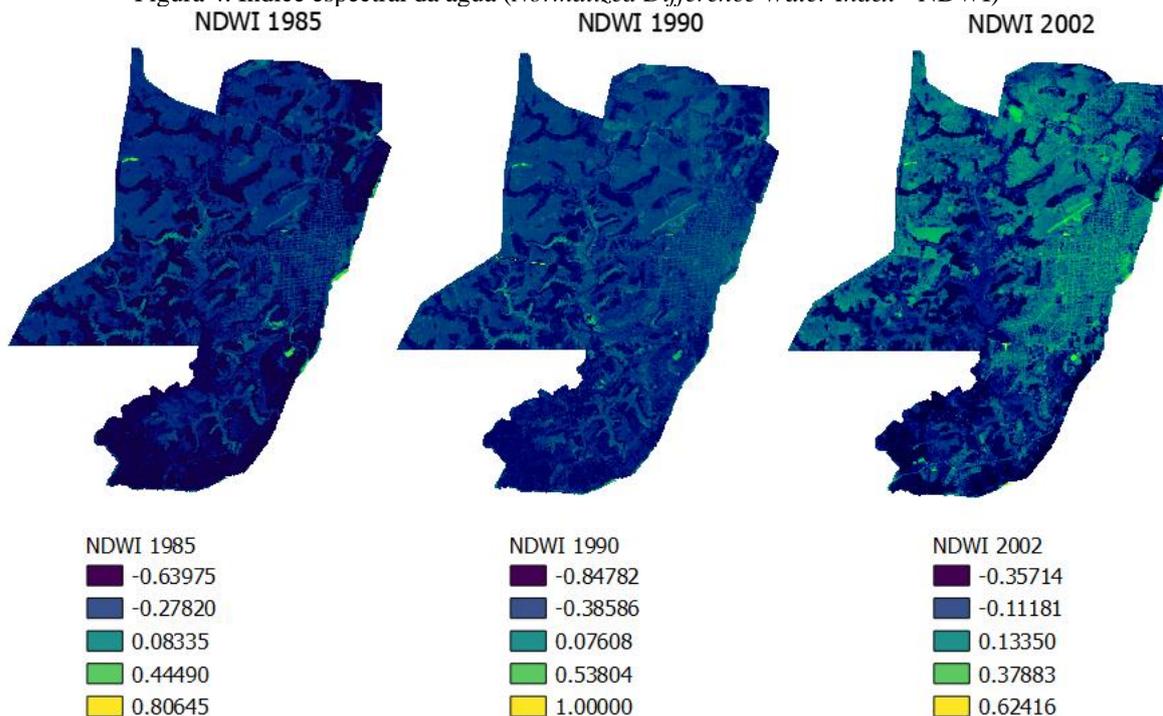


O funcionamento do algoritmo começa com a escolha de sua perspectiva global ou local. Se for global, então a imagem completa é utilizada e o modelo desejado é aplicado através de sua seleção, que após a ativação realiza a classificação mostrando a área úmida. Se a opção for Local, o tamanho da janela para o processamento deve ser definido. A imagem é dividida e o modelo escolhido é aplicado, que após a classificação é feita a união e, em seguida, apresentar a área úmida desejada (SANTOS FILHO, 2021, no prelo).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

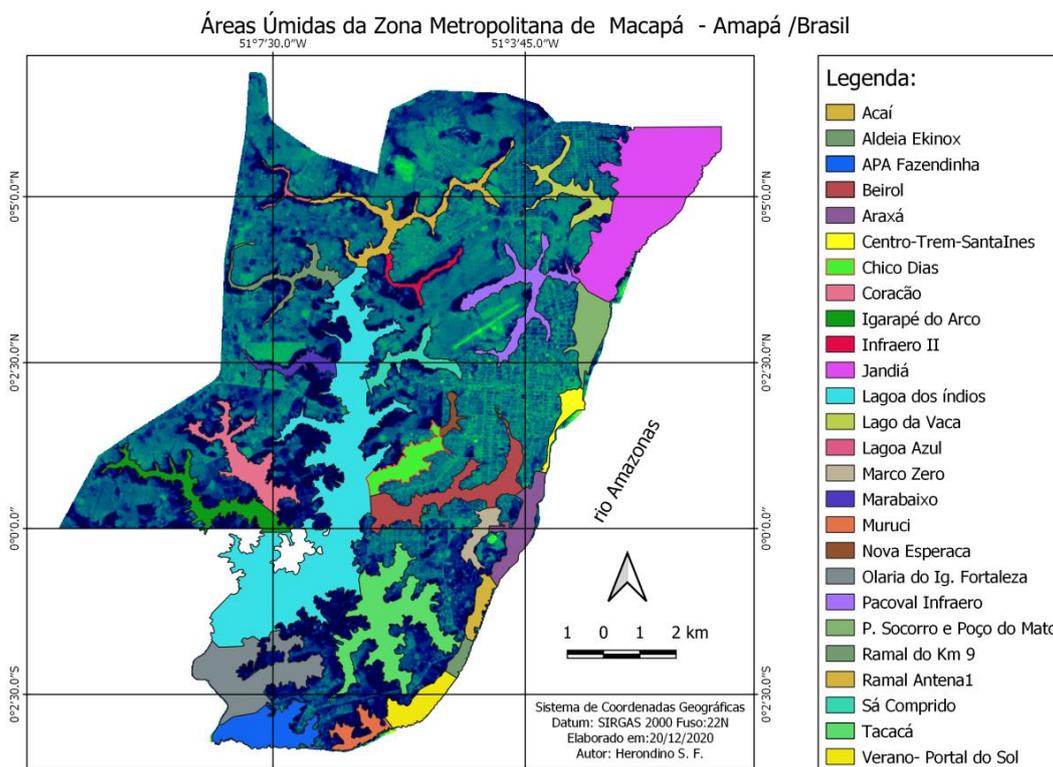
A Figura 4 mostra as imagens resultantes do índice espectral de água (*Normalized Difference Water Index - NDWI*) para os anos de 1985, 1990 e 2002. As imagens de 1985 e 1990, em seu sensor TM, mostram maior distinção onde seus valores apresentam um índice de água para as cores em tons de verde e amarelo ( $NDWI > 0.234$  para o sensor TM+ e  $NDWI > 0.153$  para o sensor TM). Além disso, nestes dois anos, a detecção urbana é menos representativa. Da mesma forma, a imagem representativa do NDWI do ano 2002, em seu sensor TM +, apresenta o índice de informações de água e solo exposto em tons mais claros, em conjunto com a área urbana.

Figura 4. Índice espectral da água (*Normalized Difference Water Index - NDWI*)



Os resultados obtidos da extensão *Water Plugin* são apresentados na Figura 5. Neste mapeamento são identificadas pelo menos 26 áreas úmidas. Sua integração é feita pela ressaca Lagoa dos Índios, a mãe de todas as ressacas da cidade. Essas áreas úmidas fazem parte da bacia do Igarapé da Fortaleza.

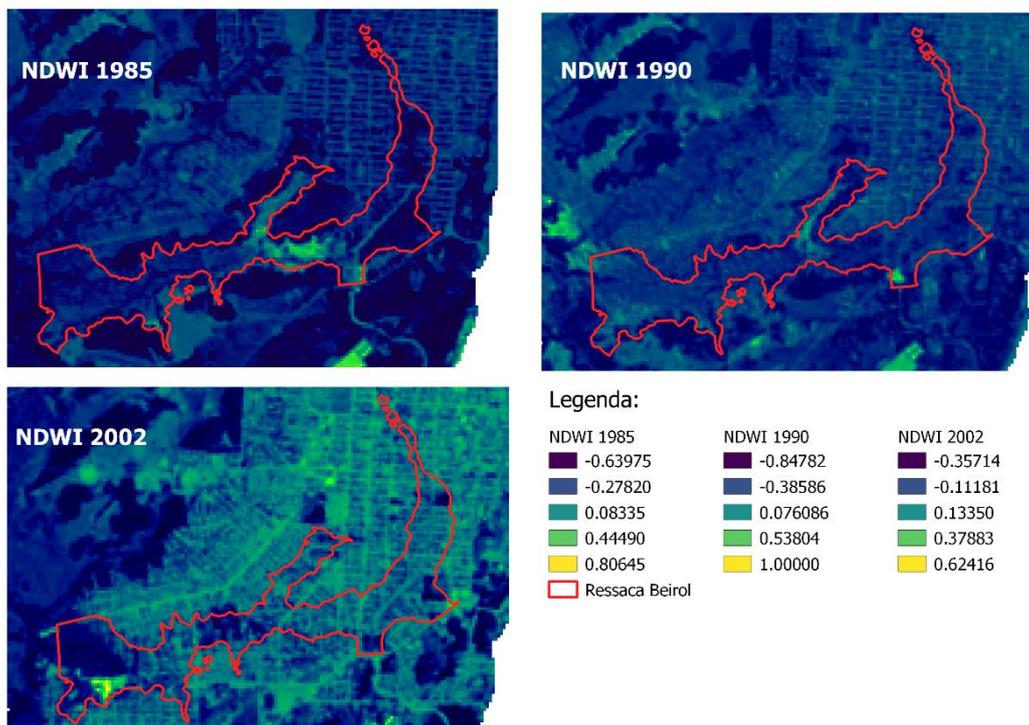
Figura 5. Áreas Úmidas delimitadas com *Water Plugin*



Comparando os modelos gerados pelo *Water Plugin* e as imagens do Landsat 5 e 7 nas diferentes datas, é possível observar a crescente tomada pela área urbana da ressaca do Beirol, conforme mostrado na Figura 6. Esta área úmida é uma das mais antigas da cidade de Macapá.

A ressaca do Beirol, segundo Santos Filho (2011) está conectada ao Igarapé da Fortaleza abrangendo os bairros do Congós, Marco Zero, Muca e Buritizal que estão na área metropolitana.

Figura 6. Comparação ressaca do Beiol *Water Plugin* x NDWI



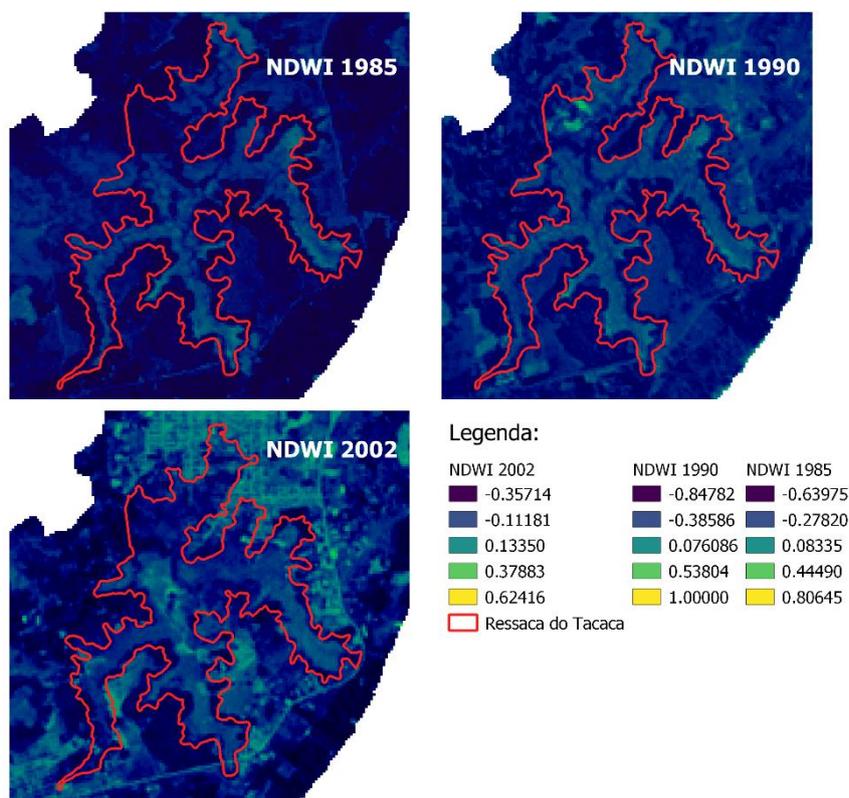
Passados os últimos 35 anos, o modelo em vermelho (*Water Plugin*) explica as enchentes causadas pelas marés e chuvas no meio da área urbana da cidade de Macapá e confirmadas pelo NDWI do LandSat dos anos 1985 e 1990.

Da mesma forma, a Figura 7 apresenta em vermelho o modelo da zona úmida do Tacacá formada a partir da extensão experimental e confirmada pelos índices espectrais da água composta pelas imagens dos satélites Landsat.

O índice NDWI obtido das imagens do sensor TM do satélite Landsat 5 apresenta uma maior diferença em seus valores. Por outro lado, o NDWI derivado das imagens do sensor TM+ do Landsat 7, mostra sensibilidade para áreas úmidas e também para áreas urbanas, ruas e solos.

A ressaca do Tacacá é um das maiores Áreas Úmidas da zona sul da cidade. A sua porção ao norte, tem sido fortemente ocupada por moradias nos últimos anos.

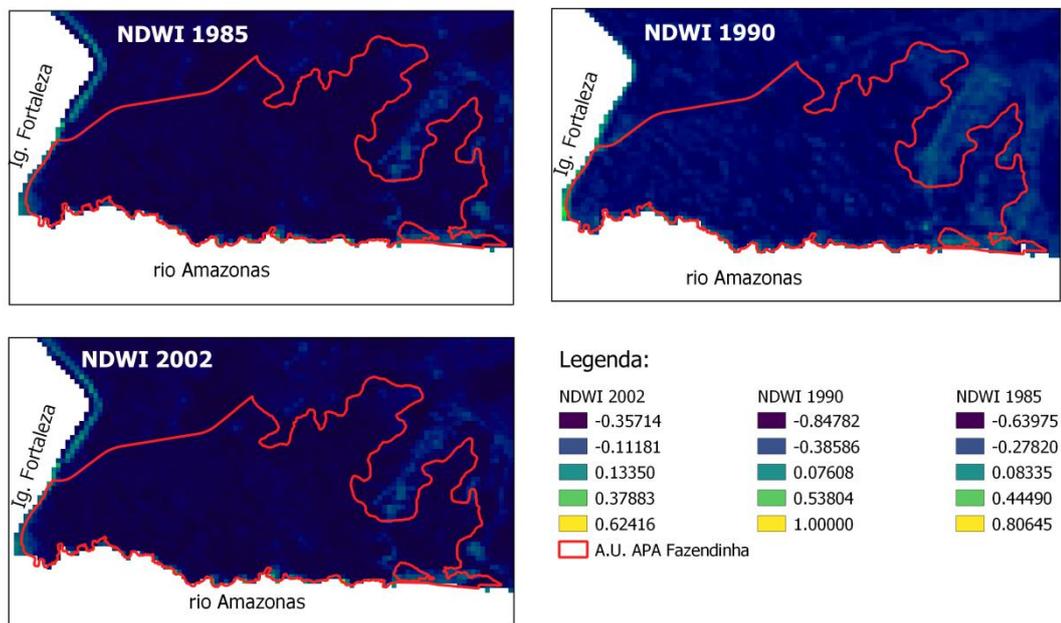
Figura 7. Ressaca do Tacacá *Water Plugin* x NDWI



Outro exemplo apresentado é a Área de Proteção Ambiental (APA) do distrito da Fazendinha localizada na Zona Sul da cidade de Macapá, que possui uma área jurídica de aproximadamente 140 hectares. É composta por uma floresta de várzea de rica biodiversidade, onde a ocupação humana também está cada vez mais presente, quer pelos ribeirinhos que a habitam, quer pela crescente população de seu entorno, cada vez mais presente devido à exploração imobiliária dos últimos anos.

Nesse campo de enfrentamento socioambiental, autores apontam que existe uma zona úmida além dos limites estabelecidos pelo decreto de criação da APA. Com o uso da extensão *Water Plugin* e seus modelos estatísticos implementados, foi possível delimitar a área úmida que envolve não só a APA, mas seu entorno, abrangendo uma área total de cerca de 240 hectares. Além disso, se pode explicar uma área de risco de inundação no distrito da Fazendinha que está sendo gradativamente e sistematicamente ocupada por seus vizinhos, além da pavimentação de vias urbanas que acompanham esta ocupação, conforme mostrado na Figura 8.

Figura 8. Área Úmida da APA da Fazendinha *Water Plugin* x NDWI

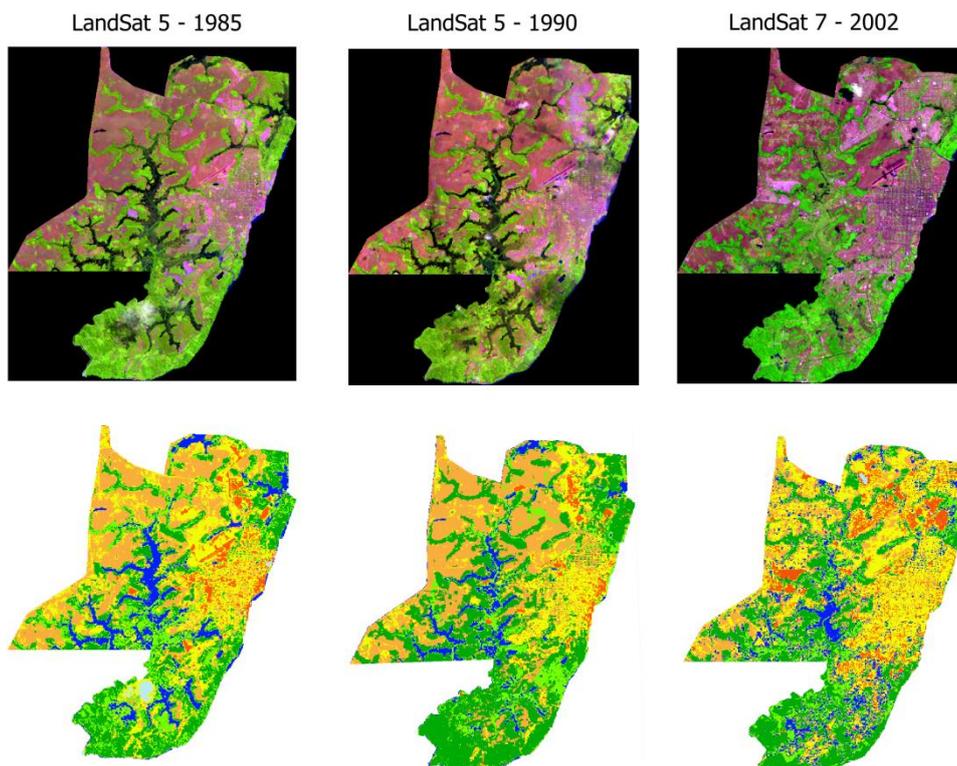


Os resultados do NDWI obtidos a partir das imagens geradas pelos sensores ópticos, nos anos de 1985 e 1990, apresentam poucas informações sobre a resposta espectral, uma vez que mostra um dossel fechado de grandes árvores presente na floresta de várzea. Porém, a delimitação em vermelho gerada pelo modelo *Water Plugin* é mais eficiente, uma vez que o espectro P penetra a copa das árvores devolvendo a informação que está debaixo dela.

Ao mesmo tempo, a imagem de 2002 mostra uma parte da vegetação desmatada que apresentam altos valores de NDWI, indicativos de água.

Além disso, sua composição colorida nas bandas 3, 4 e 5 também é muito eficiente na identificação visual, bem como sua classificação não supervisionada apresentada na Figura 9.

Figura 9. Composição 345 e classificação não supervisionada



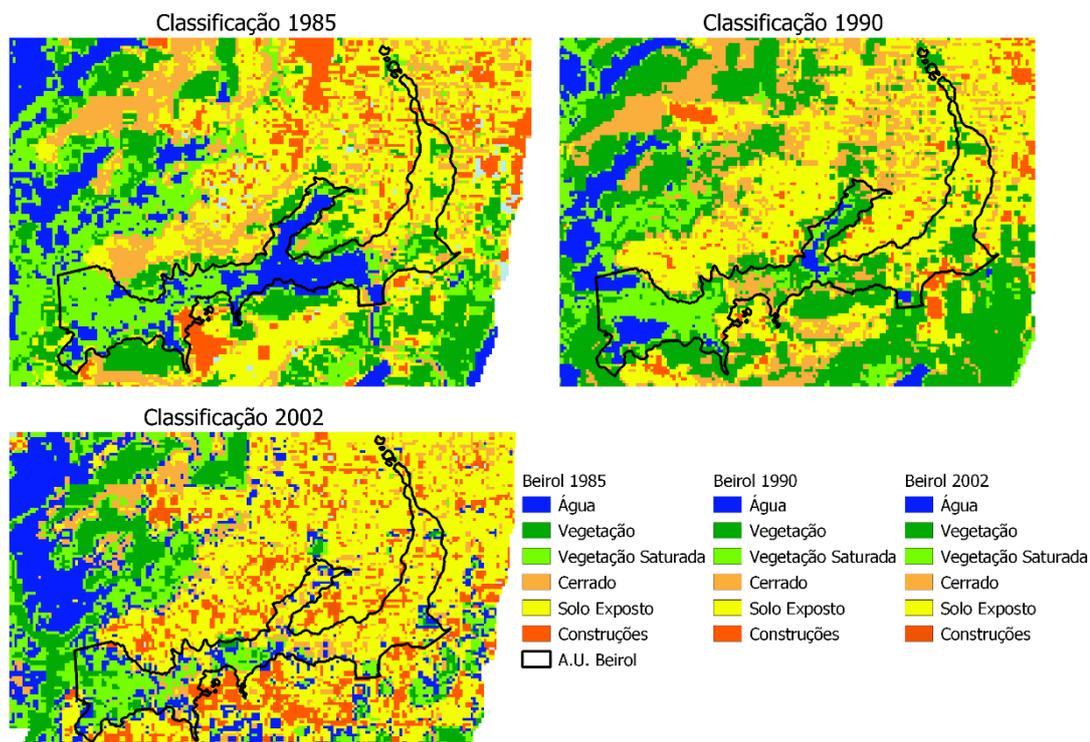
Pode-se notar a presença comum de nuvens em todas as três imagens, criando sombras que geram confusão com as referidas áreas úmidas. A vantagem dos produtos de radar é não ter problemas com esse tipo de ruído.

Na classificação não supervisionada da zona úmida de Beírol apresentada na Figura 10, os melhores resultados foram obtidos pelas imagens do sensor TM Landsat 5. A imagem Landsat 7 apresentou alguma confusão na sua classificação.

Para a classificação das imagens nos anos de 1985, 1990 e 2002 é observada a presença de Água, Vegetação, Vegetação Saturada (Macrófitas), Cerrado, Solo Exposto e Construções delimitada pelo *Water Plugin*.

Além disso, observou-se que na classificação de 2002 houve maior confusão entre Solo Exposto e Construções. Também o mesmo ocorreu na classe Água e a classe Vegetação Saturada. Além disso, a maior representação da classe Vegetação Saturada, trata-se de espécies adaptadas a Áreas Úmidas como as macrófitas.

Figura 10. Classificação Não Supervisionada x Modelo do *Walter Plugin* em vermelho



A classe Água e Vegetação Saturada foi ao longo dos anos notoriamente sendo encolhida como é observado na Figura 10 e confirmado pelos valores da classificação das áreas das sete classes apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Classificação Não Supervisionada

Nº Ordem	Classe	Área (m <sup>2</sup> )					
		1985	%	1990	%	2002	%
01	Água	797.422	27,2	332.624	11,4	441.398	15,1
02	Vegetação	314.109	10,7	872.471	29,8	141.717	4,9
03	Vegetação Saturada	1.003.528	34,3	648.350	22,2	648.106	22,2
04	Cerrado	186.305	6,4	288.156	9,8	302.389	10,4
05	Solo Exposto	562.515	19,2	710.606	24,3	1.183.380	40,5
06	Construções	62.102	2,1	73.818	2,5	201.292	6,9
07	Ruído	900	0,0	0	0,0	2.708	0,1
Total		2.926.881	100,0	2.926.025	100,0	2.920.990	100,0

As classes Solo Exposto e Construções foram crescendo na Área Úmida com o passar dos anos. Também houve crescimento gradual da classe Cerrado.

A classe Ruído representa as nuvens presente na imagem. Esta classe gerou confusão com a classe Solo Exposto e a classe Construções em virtude da similaridade de sua faixa espectral.

Outra classe que apresentou confusão foi à classe Vegetação e Vegetação Saturada.

#### 4 CONCLUSÃO

A comparação do índice espectral da água obtido por meio das imagens de satélites mostra uma relação de significativa importância com o limite desenvolvido com os modelos de extensão experimental para o QGIS denominado *Water Plugin*.

As imagens de 1985 e 1990 mostram maior distinção em que seus valores de índice espectral de água. Além disso, nestes dois anos, a detecção urbana é menos representativa. Da mesma forma, a imagem representativa do NDWI do ano 2002, apresenta o índice de informações de água e solo exposto em tons mais claros, em conjunto com a área urbana.

Através da análise do NDWI das imagens dos anos 1985, 1992 e 2002 do Landsat 5 e 7, juntamente com o modelo gerado pelo *Water Plugin*, apresenta a Ressaca do Beírol como sendo Áreas Úmidas urbanizadas, já que estas áreas hoje estão sendo ocupadas por moradias, sujeitas a inundações nos períodos de intensas chuvas e pelo aumento da maré, haja vista a baixa topografia de terreno.

Por outro lado, os resultados do NDWI obtidos a partir das imagens geradas pelos sensores ópticos, nos anos de 1985 e 1990 na APA da Fazendinha, apresentam poucas informações sobre a resposta espectral, uma vez que mostra um dossel fechado de grandes árvores presente na floresta de várzea. Porém, a delimitação gerada pelo modelo *Water Plugin* é mais eficiente, uma vez que o espectro P (72 cm de comprimento) penetra a copa das árvores devolvendo a informação que está embaixo dela.

Dentre as dificuldades apresentadas durante o processo de classificação não supervisionada, está na análise da matriz de confusão entre as classes. Outro elemento também relevante para a identificação correta das classes é a ausência de ruído (nuvens), que é muito comum nesta região da Amazônia. Contudo, a classificação não supervisionada também confirmou os resultados da análise do índice NDWI concernente a eficácia do modelo gerado pelo *Water Plugin*.

## REFERENCIAS

BRASIL, Ministério de Meio Ambiente (MMA). Áreas úmidas – conversão Ramsar. Governo Brasileiro, 2020. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/biodiversidade/biodiversidade-aquatica/zonas-umidas-convencao-de-ramsar.html>. Acesso em 25 de Fevereiro de 2020.

CAKMAK, U. M.; CUHADAROGLU, M. Mastering Numerical Computing with Numpy. Packt, Birmingham, Mumbai, P.69, 73, 2018.

GAO, B. C. NDWI - A Normalized Difference Water Index for Remote Sensing of Vegetation Liquid Water from Space. Remote Sensing of Environment, n.58, p.257-266, 1996. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00067-3)

GOMES, C. S; MAGALHÃES JUNIOR, A. P. Sistemas de Classificação de Áreas úmidas no Brasil e no mundo: panorama atual e importância de critérios hidrogeomorfológicos. Geo UERJ, Rio de Janeiro, n. 33, e, 34519, 2018, doi: 10.12957/geouerj.2018.34519.

LACERDA, G.L.B.; QUEIROGA, R. M.; SILVA, R. M. G.; SA, A. C. N.; ALVES, N. B. P.; NETO, O. R.; LOPES, G. L. Utilização de imagem SRTM para hierarquização dos cursos d'água da bacia hidrográfica do Rio do Pires – Bahia/Brasil. Brazilian Journal of Development, Curitiba, v. 5, n. 7, p.8224, jul. 2019. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/2199/2232>. Acesso em 08 de abril de 2021, doi: 10.34117/bjdv5n7-044.

LANDGREBE, D.; BIEHL, L. An Introduction & reference for Multispec version 9.2011. Purdue University, West Lafayette, Indiana USA 47907. Disponível em: [https://engineering.purdue.edu/~biehl/MultiSpec/MultiSpec\\_Intro\\_9\\_11.pdf](https://engineering.purdue.edu/~biehl/MultiSpec/MultiSpec_Intro_9_11.pdf). Acesso em 25 de março de 2021.

LIMA, S.S. Caracterização das interrelações entre geologia e geomorfologia a partir de imagens Landsat e dados SRTM na bacia hidrográfica do Rio Japarutuba, Sergipe Nordeste do Brasil. Brazilian Journal of Development, Curitiba, v.6, p.92017, nov. 2020. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/20484/16372>. Acesso em 08 de abril de 2021, doi:10.34117/bjdv6n11-563.

**MUÑOZ, V. A. Mapeamento de planícies de inundação a partir de dados SRTM: contribuição para análise da exposição a inundação na bacia do rio Itajaí. p.75. 2014. (sid.inpe.br/mtcm21b/2014/04.14.19.05TDI). Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2014. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP5W34M/3G5LL8E>>. Acesso em: 28 out. 2014.**

NAMIKAWA, L. M., CASTEJON, E. F., KÖRTING, T. S. Water Bodies from RapidEye Images. INPE – Brazilian National Institute for Space Research. Image Processing Division. São José dos Campos, Brazil, 2016.

ROKNI, K. , AHMAD, A., SELAMAT, A., HAZINI, S. Water Feature Extraction and Change Detection Using Multitemporal Landsat Imagery. Remote Sensing, 6, 4173-4189, (2014), doi: 10.3390/rs6054173.

SANTOS FILHO, H. **Mapeamento e classificação das áreas de ressaca na região metropolitana de Macapá-AP utilizando imagens do satélite CBERS-2B.** 2011. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Modelagem Matemática e Computacional, Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET/MG), Belo Horizonte, 2011, pp.2-3, 73.

SANTOS FILHO, H. Software development of Water Plugin as a complement for automatic detection of Wetlands based on the Digital Terrain Model. Departamento de Meio Ambiente, Universidade Federal do Amapá – UNIFAP, (2021). No prelo.