



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
UNIDADE ACADÊMICA DE SERRA TALHADA
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA DE PESCA

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO OBRIGATÓRIO

WILSON DOS ANJOS CARVALHO

SERRA TALHADA, PE

2019



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
UNIDADE ACADÊMICA DE SERRA TALHADA
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA DE PESCA

USO DO SENSORIAMENTO REMOTO PARA O MONITORAMENTO HÍDRICO
DA BARRAGEM DE SERRINHA II NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO

WILSON DOS ANJOS CARVALHO

Relatório de Estágio Supervisionado Obrigatório
apresentado ao Curso de Engenharia de Pesca da
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade
Acadêmica de Serra Talhada, como parte das exigências
para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Pesca.

Orientador: Alan Cézar Bezerra

Supervisor de estágio: Drausio Pinheiro Vêras

SERRA TALHADA, PE

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca da UAST, Serra Talhada - PE, Brasil.

C331u Carvalho, Wilson dos Anjos

Uso do sensoriamento remoto para o monitoramento hídrico da barragem de Serrinha II no Semiárido Pernambucano / Wilson dos Anjos Carvalho. – Serra Talhada, 2019.

26 f.: il.

Orientador: Alan Cézar Bezerra

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Bacharel em Engenharia de Pesca) – Universidade Federal Rural de Pernambuco. Unidade Acadêmica de Serra Talhada, 2019.

Inclui referências.

1. Sensoriamento remoto. 2. Recursos hídricos. 3. Geoprocessamento. I. Bezerra, Alan Cézar, orient. II. Título.

CDD 636

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
UNIDADE ACADÊMICA DE SERRA TALHADA
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA DE PESCA

Parecer da comissão examinadora da defesa de Relatório de Estágio do Curso Bacharelado em Engenharia de Pesca do discente Wilson dos Anjos Carvalho.

Título: Uso do sensoriamento remoto para o monitoramento hídrico da barragem de Serrinha II no Semiárido Pernambucano

Orientador: Alan Cézar Bezerra

A comissão examinadora composta pelo membro abaixo, considera o discente, Wilson dos Anjos Carvalho, do curso de Bacharelado em Engenharia de Pesca, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, da Unidade Acadêmica de Serra Talhada, como APROVADO.

Serra Talhada, 10 de Julho de 2019.

Banca examinadora:

Prof. Msc. Alan Cézar Bezerra

Orientador, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, UFRPE.

Aos meus Pais Sebastião Francisco e Luciene Alice e avó Pedrina Antônia, e todos os familiares e amigos por todo o incentivo que o estudo é melhor caminho para se alcançar nossos objetivos;

A todos os mestres que ensinaram e que foram de extrema importância nessa caminhada, sem eles isso não seria possível;

Ao meu avô Francisco (Chicada) “*in memoriam*” que apesar de não ter estudo, mostrava como a educação transforma a vida de uma pessoa.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Dever cumprido! Essa frase define o meu sentimento ao chegar até aqui, na conclusão desta Graduação. Agradeço primeiramente a Deus por permitir paciência e perseverança nos momentos difíceis na busca dos meus sonhos. Aos meus queridos pais, Sebastião Francisco de Carvalho, Luciene Alice dos Anjos por todo apoio e nessa longa jornada. Por desde cedo não medirem esforços para proporcionar uma educação de qualidade e acreditarem sempre nos meus sonhos e sonhá-los junto comigo.

Agradeço de modo muito especial a meu orientador Prof. Msc. Alan César Bezerra pela confiança, pelos incentivos e oportunidades. Por ser uma pessoa incrível, principalmente com sua paciência e determinação de resolver os problemas a qualquer momento, algo difícil de encontrar hoje. Uma grande satisfação de ter mostrado uma área com grande potencial e que eu estava em busca, falo que não veria trabalhando em outra linha de pesquisa, pois meus olhos brilhavam no momento que processava os mapas e isso era uma emoção fora do comum. Ao supervisor e amigo Prof. Dr. Drausio Pinheiro Vêras, por toda a sua contribuição e empenho nesse estágio, pois estava a disposição quando mais precisava e foi de fundamental importância para homologar o processo como estagiário, algo que tenho muita gratidão por isso. A Profa. Dra. Luciana Sandra Bastos Souza por acreditar e incentivar em todo meu potencial de chegar onde estou e auxiliar com informações de grande relevância no estágio. Ao GEOUAST pela grande oportunidade de aprendizado.

A Universidade Federal Rural de Pernambuco, a Unidade Acadêmica de Serra Talhada, a todos os docentes que me ensinaram na graduação durante esses cinco anos, que possibilitaram melhor crescimento profissional e pessoal.

A todos os funcionários e técnicos da UAST que de forma direta ou indiretamente contribuíram para a realização desse trabalho.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização do açude de Serrinha II na bacia hidrográfica do Rio Pajeú, no município de Serra Talhada-PE.....	12
Figura 2: Plataforma do site USGS para coletas de imagens de satélites, usado para coletar bandas do Landsat-7 e 8. Para acompanhamento do açude de Serrinha II.	13
Figura 3: Software Qgis Las Palmas 2.18 utilizado para o processamento das imagens de satélites.....	13
Figura 4: Ambiente do Qgis para processamento das imagens de satélites.	14
Figura 5: Classificação da máscara em NDWI para o reservatório de Serrinha II no período de estudo para o corpo hídrico.....	16
Figura 6: Gráfico com os diferentes métodos de evaporação para os períodos de 2012 a 2018 para o reservatório de Serrinha II.	22
Figura 7: Acompanhamento de imagens de satélites para o período de 2012 a 2018 no reservatório de Serrinha II.	24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Área do reservatório de Serrinha II em hectares para o período de 2012 a 2018 por meio de sensoriamento remoto.	16
Tabela 2: Análise estatística da correlação dos diferentes métodos empíricos avaliados, entre o período de 2012 a 2018, reservatório de Serrinha II.	23
Tabela 3: Índices de evaporação obtidos para o comparativo das imagens de satélites para o período de estudo	24

RESUMO

A região do semiárido é um local que sofre grande escassez hídrica, sendo que os índices de evaporação são elevados e a precipitação irregular durante o ano. Dessa forma ocasiona um déficit de água para área. O que demonstra grande número de reservatórios construídos para armazenamento de água no período de estiagem. Com toda essa problemática que estudos relativos às taxas evaporativas são de grande importância para melhor gestão dos recursos hídricos. O referente trabalho tem como finalidade estimar a perda hídrica com auxílio do sensoriamento remoto entre os anos de 2012 a 2018 no reservatório de Serrinha II. A área de estudo se localiza na bacia do Rio Pajeú, com capacidade de 311.000.000 m³. Para obtenção de dados orbitais utilizou a plataforma *United States Geological Survey* (USGS). Na sequência esses dados foram geoprocessados em ambiente SIG por meio do *software* Qgis 2.18 Las Palmas. Já as informações meteorológicas foram adquiridas na estação de Floresta e sendo trabalhados no Excel. Avaliando os dados orbitais em comparação ao método de evaporativo de Kohler e Parmale (1967), que foi o modelo que se destacou estatisticamente. Verificou que no período de 2012 a época de estiagem branda o açude ainda tem uma concentração muito significativa devido o fato da seca está no início por isso uma grande concentração no reservatório. Já no ano de 2013 a 2017 ocorre uma redução significativa de 1.520.100 para apenas 313.650 ha. Dessa forma observa que o período de estiagem prolongada diminui significativamente a quantidade do corpo hídrico. Elevando a área do açude de Serrinha II para o ano de 2018, com aproximadamente 684.450 ha. Gerando um aumento de 29,58% do volume útil do reservatório no período de 2012. Índices foram bem elevados para região, já que se trata do semiárido, influenciando diretamente na redução do corpo hídrico. Assim o uso do sensoriamento remoto é eficiente para fazer um estudo ao longo do tempo, analisando períodos de chuva e estiagem que influenciaram muito no reservatório.

Palavras-chave: Geoprocessamento, monitoramento, recursos hídricos, sensoriamento remoto.

ABSTRACT

The semiarid region is a place that suffers great water shortages, with evaporation rates high and irregular precipitation during the year. This causes a water deficit for the area. This shows a large number of reservoirs built for water storage during the dry season. With all this problematic that studies on the evaporative rates are of great importance for better management of the water resources. The objective of this work is to estimate the water loss using remote sensing between the years of 2012 and 2018 in the Serrinha II reservoir. The study area is located in the Pajeú River basin, with a capacity of 311.000.000 m³. To obtain orbital data, it used the United States Geological Survey (USGS) platform. These data were geoprocessed in the GIS environment using Qgis 2.18 Las Palmas software. The meteorological information was acquired in the station of Floresta and being worked in Excel. Evaluating the orbital data compared to the evaporative method of Kohler and Parmale (1967), which was the model that stood out statistically. He verified that in the period of 2012 the season of soft drought the reservoir still has a very significant concentration due to the fact of the drought is in the beginning therefore a great concentration in the reservoir. In the year 2013 to 2017 there is a significant reduction from 1.520.100 to only 313.650 ha. In this way it observes that the prolonged drought period significantly decreases the quantity of the water body. Raising the weir area of Serrinha II for the year 2018, with approximately 684.450 ha. Generating a 29,58% increase in the useful volume of the reservoir in the period of 2012. Indices were very high for the region, since it is the semiarid, directly influencing the reduction of the water body. Thus the use of remote sensing is efficient to make a study over time, analyzing periods of rain and drought that have greatly influenced the reservoir.

Keywords: Geoprocessing, monitoring, water resources, remote sensing.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS.....	11
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
3. DESCRIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL	12
3.1 Área de estudo	12
4. ATIVIDADES DESENVOLVIDAS	12
4.1 Aquisição e tratamento de dados orbitais	12
4.2 Cálculo de reflectância.....	14
4.3 Cálculo NDWI.....	15
4.4 Classificação da imagem	15
4.5 Cálculo de área (r.report QGIS)	16
4.6 Aquisição de dados meteorológicos.....	17
4.7 Estimativa da evaporação para o reservatório	17
4.7.1 Modelo Penman (1948)	17
4.7.2 Modelo Kohler e Parmale (1967).....	18
4.7.3 Modelo Linacre (1993).....	19
4.7.4 Modelo Stewart e Rouse (1976).....	19
4.7.5 Modelo Camargo (1999)	19
5 CÁLCULO DE EVAPORAÇÃO	20
5.1 Avaliação da estimativa da evaporação	22
5.2 Relação das imagens de satélites com a evaporação	23
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	25
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25

1. INTRODUÇÃO

O semiárido brasileiro tem índice pluviométrico anual médio de 800 mm, insolação média de 2.800 h.ano⁻¹, temperaturas médias que podem variar entre 23°C a 27 °C, perdas evaporativas médias de 2000 mm.ano⁻¹ e umidade relativa média do ar é em torno de 50%. A região descrita acima basicamente apresenta um alto vigor de insolação, temperaturas muito elevadas e um regime pluviométrico definido pela escassez, alteração e acúmulo das precipitações em um curto período de tempo, com média atuando de três a quatro meses, apresentando capacidade acumulativa insuficiente de água para os reservatórios para atender os requerimentos populacional (SILVA, et al., 2010).

De uma forma geral estimar a perda de d'água nos corpos lacustres por evaporação não são considerados. São apenas estimadas as perdas por vazão para consumo humano e na produção agrícola. No entanto é interessante ressaltar que dependente da região no qual se localiza o reservatório, a taxa evaporativa d'água é considerada significativa. De modo que incluir a variável no balanço de perdas de água para determinar a taxa de perda em reservatórios para o meio, principalmente em uma região como o semiárido, é fundamental para uma boa gestão desse recurso (SOARES et al., 2015).

O estudo temporal estabelece melhor gestão dos recursos hídricos priorizando o uso racional da água de uma forma sustentável, que garante melhor controle das águas armazenadas nos reservatórios (DANTAS, 2017).

2 OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Estimar a perda hídrica com auxílio do sensoriamento remoto entre os anos de 2012 a 2018 no reservatório de Serrinha II, município de Serra Talhada-PE.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Montar um banco de dados espaciais com imagens de satélites Landsat;

Processar os dados para interpretação requerida;

Realizar a estimativa de evaporação por modelos empíricos;

Comparar o desempenho dos modelos empíricos;

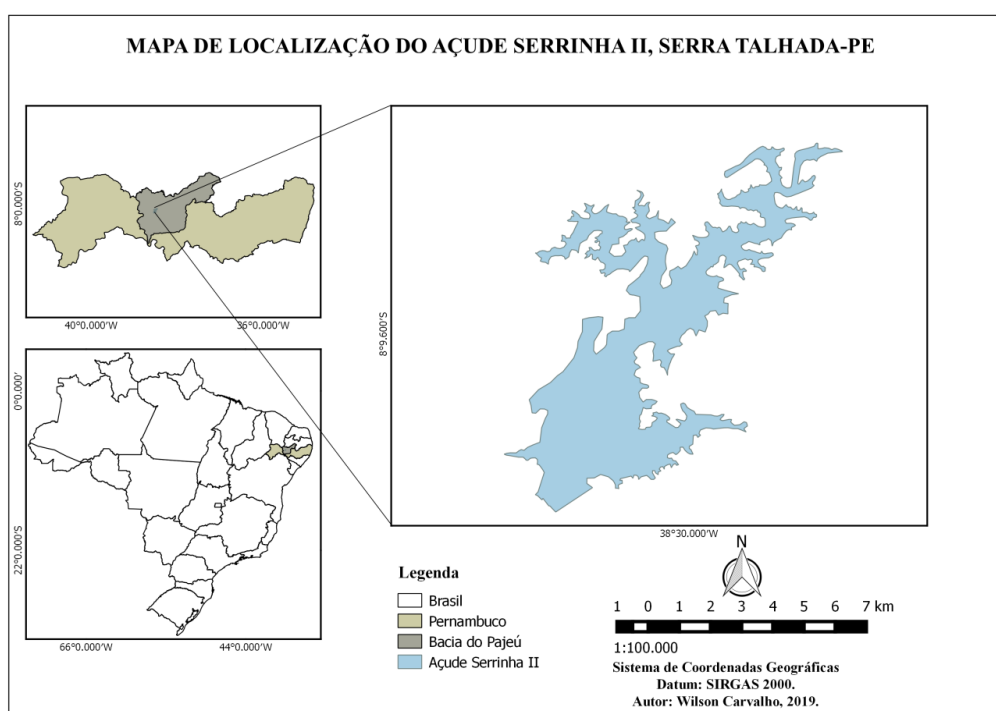
Comparar o período das imagens com os modelos de estimativa evaporativa.

3. DESCRIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL

3.1 Área de estudo

O açude Serrinha II se localiza no Rio Pajeú, município de Serra Talhada-PE. Coordenadas $8^{\circ}0'58''$ S e $38^{\circ}31'21''$ W (Figura 1), feito e operado pelo DNOCS. Tem capacidade máxima acumulativa de 311.000.000 m³ (OLIVEIRA, 2005).

Figura 1: Localização do açude de Serrinha II na bacia hidrográfica do Rio Pajeú, no município de Serra Talhada-PE.



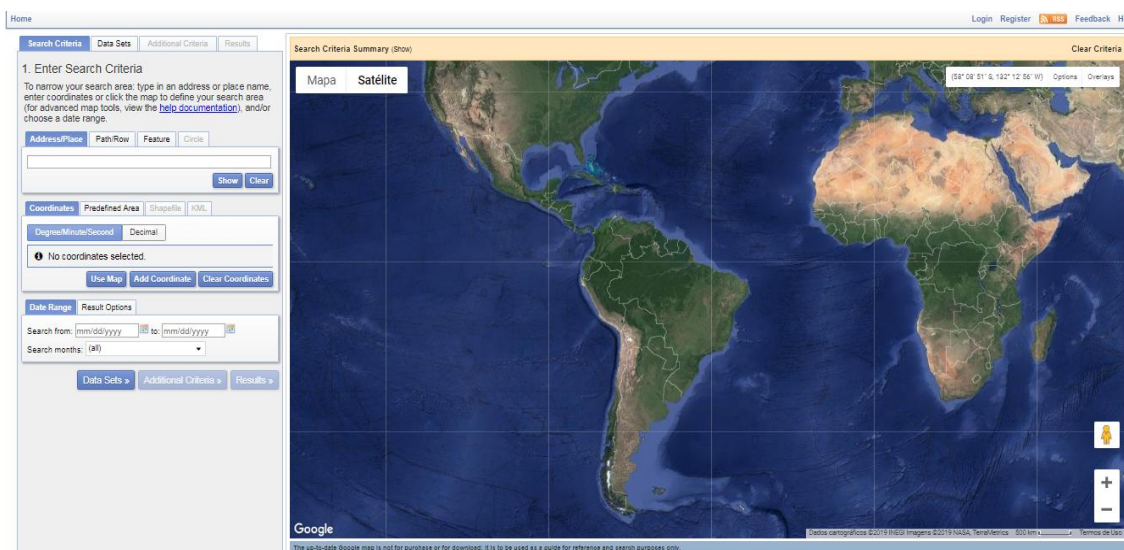
4. ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

4.1 Aquisição e tratamento de dados orbitais

Para fazer os procedimentos de processamento das imagens ao referente estudo utilizou a plataforma *United States Geological Survey* (USGS) através do site <https://earthexplorer.usgs.gov>, que é um plataforma com banco de dados de imagens de diversos satélites (Figura 2), com diversas bandas de forma gratuita para estudos envolvendo geoprocessamento. É um ambiente que possibilita fazer uma filtragem para o período estudo

de interesse, como também critérios que estabelece a porcentagem de nuvens presentes nas imagens, pois grande quantidade das mesmas pode prejudicar a visualização do estudo em uma determinada região de interesse para obtenção das informações.

Figura 2: Plataforma do site USGS para coletas de imagens de satélites, usado para coletar bandas do Landsat-7 e 8. Para acompanhamento do açude de Serrinha II.



Fonte: <https://earthexplorer.usgs.gov/>

Para determinação da taxa de perda d'água no açude Serrinha II nos períodos de 2012 com Landsat-07 e de 2013 a 2017 utilizou-se o satélite Landsat-8. As bandas de imagens obtidas foram as seguintes: B3 (Verde) e B5 (Infravermelho próximo), possuindo uma resolução espacial de 30 m. Na fase de pré-processamento, as imagens de satélites foram reprojetadas por meio do software Qgis 2.18 Las Palmas (Figura 3) para WGS 84/UTM Zona 24 S. Como as cenas estavam muito grandes para o processamento, foi necessário fazer um recorte por meio de um *shapefile*, criando um polígono de uma área menor sobre a região do açude Serrinha II por meio da ferramenta raster.

Figura 3: Software Qgis Las Palmas 2.18 utilizado para o processamento das imagens de satélites

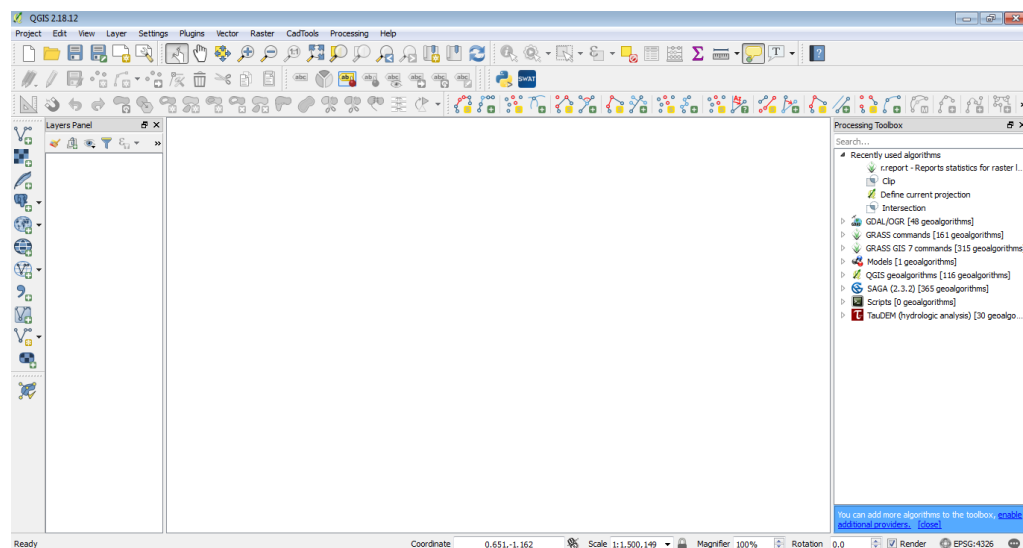


Fonte: <http://blog.qgis.org/2016/11/08/qgis-2-18-las-palmas-is-released/>

4.2 Cálculo de reflectância

O cálculo de reflectância é uma etapa de extrema importância para calcular a área em ha do reservatório, pois esse método estabelece a taxa de luz que é refletida para atmosfera e assim obter resultados posteriores. No procedimento da reflectância utilizou-se a banda B3 (verde) e banda B5(infravermelho próximo), usando as imagens separadamente para calcular a luz refletida, isso foi feito no sistema de informação geográfica (SIG) com auxílio do software Qgis versão 2.18 (Figura 4).

Figura 4: Ambiente do Qgis para processamento das imagens de satélites.



Sendo utilizando a ferramenta calculadora raster, que atendeu a seguinte equação 1:

$$R = \frac{(M \times Q_{cal} + A)}{\text{sen ES}} \quad (1)$$

Em que,

R= Reflectância

M= Camada do açude

Qcal= Constante (0.00002)

A=Constante (-0.10000)

Sen ES= Seno da elevação solar (0.890726)

4.3 Cálculo NDWI

Para calcular NDWI no Qgis por meio do *plugin* calculadora raster, utilizou-se duas bandas do satélite Landsat-07 para período de (2012), pois ainda o Landsat-08 não estava operando para o período, o qual foi apenas utilizado para os anos de (2013 a 2018), usando as banda 3, correspondente ao verde do espectro-eletromagnético no visível e a banda 5, correspondendo ao infravermelho próximo (Equação 2). Com base nessas bandas foi estimado o índice da diferença normalizada da água (NDWI), que tem a capacidade de separar o que é água, solo e vegetação (MCFEETERS, 1996). Entre valores de próximos a -1 a +1, sendo próximo ao negativo solo e vegetação, com valores positivo água.

$$NDWI = \frac{(B3 - B5)}{(B3 + B5)} \quad (2)$$

Em que,

NDWI = Índice da Diferença Normalizado da Água

B3 = Reflectância da Banda 3 (verde)

B5 = Reflectância da Banda 5 (infravermelho próximo)

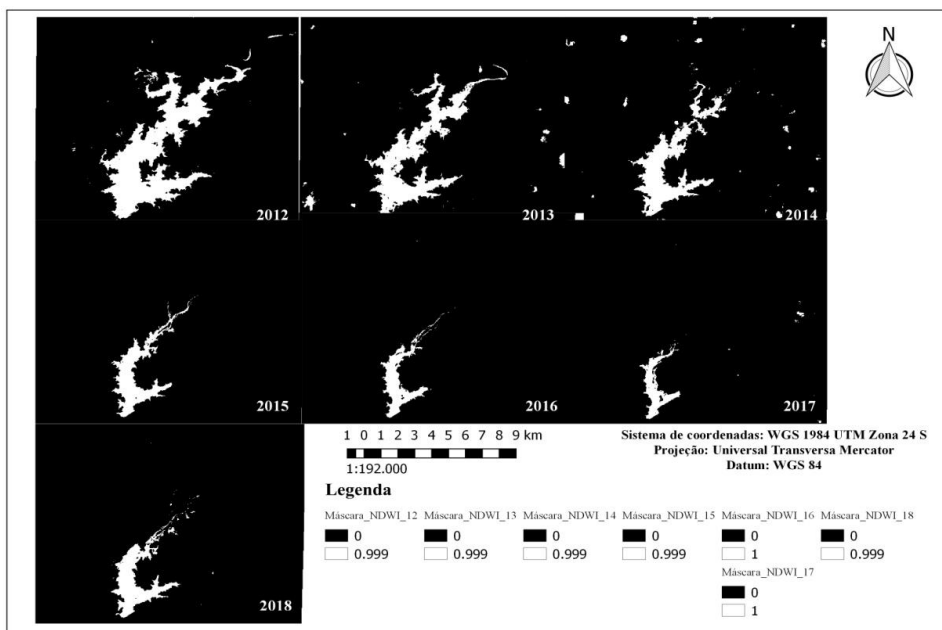
4.4 Classificação da imagem

A classificação da imagem consiste em criar uma máscara ndwi corpo hídrico, no software Qgis 2.18 na ferramenta calculadora raster, que segue o critério de satisfação da seguinte equação 3:

$$\text{Máscara NDWI} = (NDWI \geq 0) * 1 \quad (3)$$

Essa equação diferencia a presença de água e superfície terrestre, através das condições no processamento do mapa ndwi, que consistem determinar valor de 0 para área terrestre e valor de 1 para área aquática (Figura 5), o que pode ser de grande importância para determinar o processamento da imagem, no que diz respeito calcular em hectares (ha) a parte hídrica, para o respectivo período, assim gerando diversas análises do aumento ou redução do reservatório em relação à época de chuva ou estiagem.

Figura 5: Classificação da máscara em NDWI para o reservatório de Serrinha II no período de estudo para o corpo hídrico.



4.5 Cálculo de área (r.report QGIS)

Com a ferramenta r.report com a imagem raster de classificação do corpo hídrico na diferenciação da água e terra do reservatório, possibilita estimar a área do açude em hectares. No qual gera um relatório para cada período que abrange o local de estudo da superfície do corpo hídrico nos anos de 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017 e 2018 (Tabela 1).

Tabela 1: Área do reservatório de Serrinha II em hectares para o período de 2012 a 2018 por meio de sensoriamento remoto.

Dia. Mês. Ano	Satélites	Área (ha)
20 de Novembro de 2012	Landsat-07	2.313.720
15 de Novembro de 2013	Landsat-08	1.520.100
01de Outubro de 2014	Landsat-08	1.095.660
21 de Novembro de 2015	Landsat-08	676.890
23 de Novembro de 2016	Landsat-08	435.780
26 de Novembro de 2017	Landsat-08	313.650
29 de Novembro de 2018	Landsat-08	684.450

4.6 Aquisição de dados meteorológicos

Os dados meteorológicos, utilizados nesse trabalho, foram obtidos no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). A estação utilizada para obtenção dessas informações foi no município de Floresta (latitude -7,80 e longitude -38,98), ficou a critério essa estação, devido o fato da mesma está mais próxima do reservatório, ao contrário da localizada em Serra Talhada.

Na estação foram obtidas as médias diárias de temperatura máxima, média e mínima, umidade relativa do ar, velocidade do vento, Insolação e pressão atmosférica, de grande importância para calcular a estimativa evaporativa trabalhando os dados no Excel, com finalidade de obter as médias diárias, mensais e anuais das variáveis climatológicas.

4.7 Estimativa da evaporação para o reservatório

A estimativa do reservatório de Serrinha II foram feitos com base nos dados meteorológicos do item 4.6 O cálculo foi desenvolvido com base nas seguintes metodologias: modelo de Penman (1948), modelo Kohler e Parmale (1967), modelo de Linacre (1997), modelo Stewart e Rouse (1976) e modelo de Camargo (1999). Foram obtidas diversas estimativas de evaporação para o açude de Serrinha II em períodos anuais.

4.7.1 Modelo Penman (1948)

A taxa de evaporação para barragem de Serrinha II, (em mm por ano), de acordo com o modelo sugerido por Penmam, sendo calculada de acordo com a equação 4:

$$EPM = \frac{S}{S+\gamma} \times \frac{Rn}{2,45} + \frac{\gamma}{S+\gamma} \times Eap \quad (4)$$

No qual,

$S = (4098 \times es) / ((ta + 237,3) \times 2)$, representa a declividade da curva da pressão de saturação de vapor em relação à temperatura,

es = Pressão de saturação (kPa),

ta = Temperatura do ar ($^{\circ}C$),

γ = Coeficiente psicrométrico $0,062 - (7 \times 10^{-6} \times \text{altitude local})$ em $kPa \text{ } ^{\circ}C^{-1}$,

R_n = Saldo da radiação (W m^{-2}),

$E_{ap} = 2,62 \cdot (1 + 0,526 U_2)(e_s - e_a)$,

U_2 = velocidade do vento a 2 m de altura (m s^{-1}),

e_a = Pressão do vapor (kPa).

- $(U_4 \cdot e_s)/100$

4.7.2 Modelo Kohler e Parmale (1967)

A evaporação na barragem Serrinha II (mm por ano), de acordo com o modelo proposto por Kohler e Parmale, desse modo estimado pela seguinte equação 5, descrita abaixo:

$$E_{KP} = \frac{S}{S + \gamma_L} x \frac{R_{nk}}{2,45} + \frac{\gamma_L}{S + \gamma_L} x E_{ak} \quad (5)$$

Sendo que,

γ_L = Constante psicrométrica modificada

- $\gamma + ((4\varepsilon T_a^3)/(0,136 + (0,095 U_4)))$

ε = Emissividade da superfície (0,92),

T_a = Temperatura do ar a 2 m de altura ($^{\circ}\text{C}$),

U_4 = Umidade relativa do ar (%),

$R_{nk} = (R_s(1 - \text{albedo})) - (\sigma T_a^3)(0,34 - 0,14 \sqrt{e_a})$

R_s = Saldo de radiação ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$),

O albedo utilizado para água de acordo Roque & Sansigolo (2005) é 0,1, pois apresentou resultados satisfatórios para o cálculo de evaporação.

4.7.3 Modelo Linacre (1993)

Linacre desenvolveu uma fórmula empírica para estimativa de evaporação de reservatório com base no método de Penmam. O modelo apresentado se fundamentou de fato na equação de Penmam, o qual leva em considerações quatro variáveis meteorológicas como: Umidade relativa, velocidade do vento, saldo de radiação e temperatura do ar.

A evaporação na barragem Serrinha II (mm por ano), de acordo com o modelo proposto por Linacre (1993), desse modo estimado pela seguinte equação 6, descrita a seguir:

$$ELN = 0,015 + (0,0042ta) + (10^{-6}xZ)x[(0,8xQg) - 40 + 2,5xFxU_2x(ta - td)] \quad (6)$$

No qual,

Z = Altitude da estação (m),

Qg = Radiação global ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$),

F= É a irradiância solar do lago ($1-8,7 * 10^{-5} * z$),

Td = Temperatura do orvalho ($^{\circ}\text{C}$).

4.7.4 Modelo Stewart e Rouse (1976)

A evaporação na barragem Serrinha II (mm por ano), de acordo com o modelo proposto por Stewart e Rouse, desse modo estimado pela seguinte equação 7, descrita abaixo:

$$ESR = \frac{S}{S+\gamma} x (0,4755 + 0,3773xR_s) \quad (7)$$

4.7.5 Modelo Camargo (1999)

A evaporação na barragem Serrinha II (mm por ano), de acordo com o modelo proposto por Camargo, desse modo estimado pela seguinte equação 8, descrita abaixo:

$$ECM = 0,01x \frac{Ra}{2,45} x (1,08xtmax - 0,36tmin) \quad (8)$$

Ra = Irradiância solar extraterrestre ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$)

tmax = Temperatura máxima ($^{\circ}\text{C}$)

tmin = Temperatura mínima ($^{\circ}\text{C}$)

5 CÁLCULO DE EVAPORAÇÃO

A evaporação é empregada para se referir a um processo físico da transferência da água em forma de vapor para atmosfera de maneira lenta e gradativa (VAREJÃO-SILVA, 2006).

As informações de início para calcular a evaporação do açude de Serrinha II, foram através de obtenção de séries históricas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), dados que abrange o período de 2012 a 2018.

Para fazer análise comparativa da evaporação referente aos métodos que mostra o mais adequado no estudo do reservatório de Serrinha II, utilizou como referência para os demais modelos Penman (1948). Com base no método referencial gerou estatísticas, a finalidade é definir o método mais adequado para se determinar de forma mais precisa a taxa evaporativa para a região estudada.

A precisão das estimativas foi avaliada por meio do coeficiente de determinação (R^2) e do índice de exatidão (d) de Willmott et al. (1985) que expressa a exatidão das estimativas em relação aos valores observados, variando de zero que indica nulidade e 1 que indica perfeita concordância (exatidão), o qual é determinado por meio da Equação 9.

$$d = 1 - \frac{\sum (P_i - O_i)}{\sum (|P_i - O| + |O_i - O|)} \quad (9)$$

Em que, O_i é o valor estimado de E pelo método Penman P_i é o valor de ET_o estimado pelos demais métodos; O é a média dos valores estimados de E pelo método Penman e i é o número de eventos.

A avaliação de desempenho do ajuste de cada método foi realizada com base no índice de desempenho proposto por Camargo e Sentelhas (1997), denominado de “ c ”. O índice de desempenho resulta do produto entre o índice de precisão “ r ”, coeficiente de correlação de Pearson, e de exatidão “ d ” de Willmott et al. (1895), sendo expresso de acordo com a Equação 10.

$$c = r \cdot d \quad (10)$$

Além dos índices citados anteriormente, foi realizada verificação por meio da Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE), do Erro Absoluto Médio (EAM) e do Erro Relativo Médio (ERM) entre a evaporação estimada em relação ao método padrão Penman.

A raiz do erro quadrático médio (RMSE, Equação 11) caracteriza a variância dos erros na estimativa e quanto menor o valor do RMSE, melhor é o ajuste do método.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{N}} \quad (11)$$

As Equações 12 e 13 referem-se aos erros médios absolutos e relativos, os quais auxiliam na compreensão dos erros gerados por cada método utilizado. Assim, quanto maiores esses índices, pior é o modelo para estimativa da variável em análise.

$$EAM = \frac{\sum_{i=1}^n |P_i - O_i|}{N} \quad (12)$$

$$ERM = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^n \left| \frac{P_i - O_i}{O_i} \right| \quad (13)$$

Em que, N é o número de observações.

Assim, também foi realizada a verificação dos erros proporcionados pelas estimativas, por meio do Erro Padrão da Estimativa (EPE). Esse índice também indica a qualidade do ajuste do modelo e o quanto ocorre em média o erro da estimativa de uma variável dependente. Dessa forma, Figueredo Dantas et al. (2016) afirmam que quanto menor o EPE, melhor é o ajuste do modelo (Equação 14).

$$EPE = \sqrt{\left[\frac{\sum (P_i - O_i)^2}{N - 2} \right]} \quad (14)$$

Com a geração dos dados estatísticos que melhor representa o modelo que mais se mostrou adequado para o reservatório de Serrinha II, desta forma analisando o comportamento para a época de dados estudados.

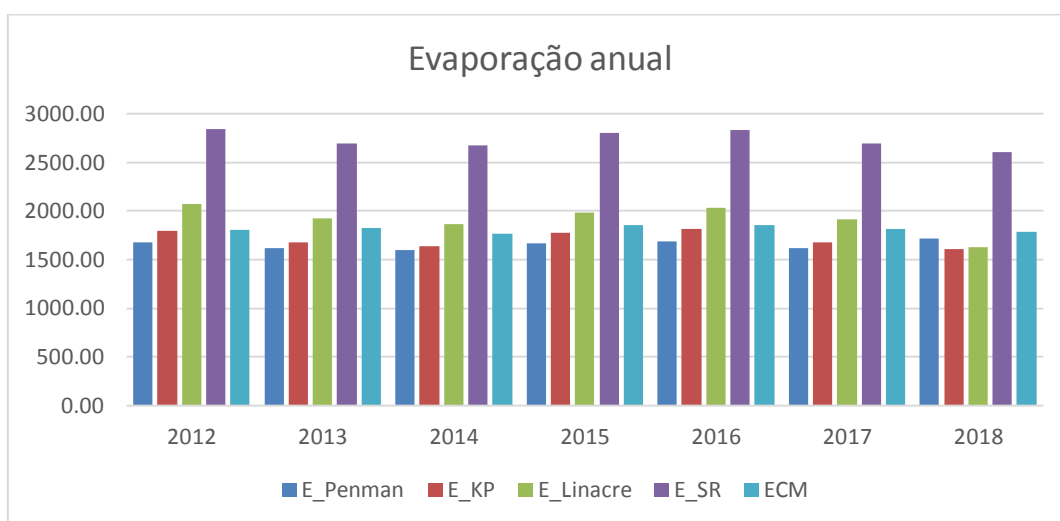
A observação da influência causada pela a evaporação é determinada com base na representação desse fenômeno incluído no balanço hídrico da barragem, analisando como isso influencia no funcionamento desse sistema de armazenagem de água.

5.1 Avaliação da estimativa da evaporação

Para fazer a estimativa evaporativa do reservatório foram empregados diversos modelos, na finalidade de encontrar por meio estatístico o método mais adequado para área de estudos. Os modelos foram trabalhados em planilha Excel, sendo encontrados os dados evaporativos diários, mensais e anuais para o período de 2012 a 2018.

Os resultados encontrados estão presentes no gráfico que mostra os diferentes modelos e os respectivos modelos (Figura 6).

Figura 6: Gráfico com os diferentes métodos de evaporação para os períodos de 2012 a 2018 para o reservatório de Serrinha II.



Observa-se no gráfico (Figura 6), cinco métodos de evaporação, na análise para o modelo E_Penman (Penman, 1948) resultados acima de 1500 mm. O método de E_KP (Kohler e Parmale, 1967), informações acima de 1500 mm. E_Linacre (Linacre, 1993), os valores varia de 1500 mm e para períodos ultrapassa 2000 mm. E_CM (Camargo, 1999), apresentou valores acima da casa dos 1500 mm. o modelo E_SR (Stewart e Rouse, 1976), os valores estão acima dos 2500 mm.

No entanto esses valores não mostra qual o método é mais adequado para estimar a evaporação para o reservatório de Serrinha II. Para isso foi necessário gerar informações

estatísticas usando como referencia o método de Penman (1948), por esse modelo ser mais usado no mundo. Com base da estatística obteve-se os seguintes resultados descritos na tabela 2.

Tabela 2: Análise estatística da correlação dos diferentes métodos empíricos avaliados, entre o período de 2012 a 2018, reservatório de Serrinha II.

Métodos	Índices			Desempenho	EPE	EMR	RMSE	EMA
	d	r	c					
E_KP	0,924	0,982	0,91	Ótimo	0,665	13.401	0,665	0,557
E_Linacre	0,879	0,908	0,80	Muito bom	1,227	21.090	1,226	0,989
E_SR	0,430	0,977	0,42	Mau	3,100	66.893	3,099	3,011
ECM	0,805	0,755	0,61	Mediano	0.880	16.857	0,880	0,700

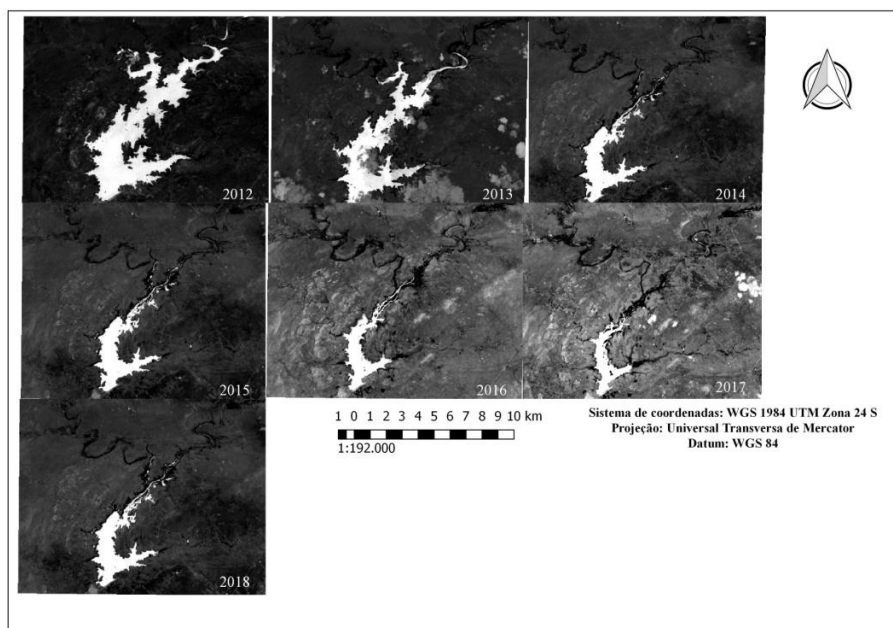
d – Índice de Willmott; r – Coeficiente de correlação; c – Índice de confiança; EPE – Erro Padrão da Estimativa; EMR – Erro Médio Relativo; RMSE – Raiz do Erro Quadrático Médio; EMA – Erro Médio Absoluto.

Com base na tabela 2, a análise estatística mostrou que o modelo mais adequado para se estimar a evaporação do reservatório de Serrinha II foi Kohler e Parmale, 1967, se caracterizando como ótimo de acordo com os dados gerados. Também outro modelo se destacou de forma satisfatória: Linacre, 1993.

5.2 Relação das imagens de satélites com a evaporação

Observando as imagens de satélites, pode-se verificar que no período de 2012 a época de estiagem branda o açude ainda tem uma concentração muito significativa devido o fato da estiagem está no início, por isso uma grande concentração no reservatório. Já no ano de 2013 a 2017 ocorre uma redução significativa de 1.520.100 para apenas 313.650 ha. Dessa forma observa que o período de estiagem prolongada diminui significativamente a quantidade do corpo hídrico. Elevando a área do açude de Serrinha II para o ano de 2018, com aproximadamente 684.450 ha, devido ao fato de ser um ano com uma precipitação dentro da média. Gerando um aumento de 29,58% do volume útil do reservatório no período de 2012.

Figura 7: Acompanhamento de imagens de satélites para o período de 2012 a 2018 no reservatório de Serrinha II.



Com base nessas imagens foram adquiridas as taxas evaporativas para o período com o método mais adequado com base estatística (Tabela 3).

Tabela 3: Índices de evaporação obtidos para o comparativo das imagens de satélites para o período de estudo do reservatório de Serrinha II.

Anos	Meses	E_KP (mm)
2012-2013	Nov-Out	1.712,79
2013-2014	Nov-Out	1.656,95
2014-2015	Out-Set	1.716,93
2015-2016	Nov-Out	1.832,73
2016-2017	Nov-Out	1.659,09
2017-2018	Nov-Out	1.614,78

Os somatórios dos valores de evaporação foram adicionados no intervalo do período da imagem de satélite. Sendo que a contagem inicia no mês da imagem e terminando um mês antes do período que a imagem foi obtida do próximo ano, para que possa abranger todo um período de significância de resultados. Também é interessante ressaltar que a evaporação é muito elevada para a região do Semiárido, dessa forma tendo um desequilíbrio em

comparação aos índices pluviométricos e perda hídrica. Existindo um déficit nessas duas variáveis. No entanto não podemos afirmar que as perdas são apenas das mesmas e devem-se colocar outros valores nas perdas como a taxa de infiltração e vazão. Por isso não pode afirmar que apenas evaporação causou a redução do reservatório e sim diversos fatores que também contribuíram para que isso ocorresse.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Desta forma, análise por sensoriamento remoto mostrou muito importante para o acompanhamento do reservatório de Serrinha II, pois através das imagens podemos inferir diversas informações principalmente uma retrospectiva do período, demonstrando como o corpo hídrico sofre alterações ao longo dos anos.

Com grande capacidade de ser utilizados não somente para o Semiárido, como também para outras regiões do Brasil na finalidade de ser mais eficiente na tomada de decisões em relação ao acompanhamento de reservatórios, garantindo uma melhor gestão dos recursos hídricos.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Dantas, S. P. Açudagem no Nordeste brasileiro e no Ceará: Estimativa de evaporação do açude Castanhão em um ano seco. p. 0–195, 2017.

FIGUEREDO DANTAS, G. F.; OLIVEIRA, V. M. R.; DALRI, A. B.; PALARETTI, L. F.; SANTOS, M. G.; FARIA, R. T. (2016) Desempenho de métodos na estimativa de evapotranspiração de referência para o estado da Paraíba, Brasil. *Irriga*, 3: 481-490.

MCFEETERS, S. K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. **International Journal of Remote Sensing, Basingstoke**, v.17, n.7, p.1.425– 1.432, 1996.

OLIVEIRA, R. R. V. M. **Perda de água por evaporação em um pequeno reservatório do semiárido**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

ROQUE, R. O.; SANSIGOLO, C. A. 2001. Estimativas de evaporação do lago de Taquaruçu, SP pelo modelo conceitual de Morton. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 6, n.1, p. 21-28.

SILVA, P. C. G. et al. Caracterização do Semiárido brasileiro: fatores naturais e humanos. **Embrapa Semiárido-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2010.

SOARES, L. L. et al. Perda d'água por evaporação em represas e lagos na região de Santa Maria, RS. **Disciplinarum Scientia Naturais e Tecnológicas**, v. 16, n. 1, p. 33-43, 2015.

VAREJÃO-SILVA, M. A. Meteorologia e Climatologia. 2006. **Versão digital**, v. 2.

WILLMOTT, C. J.; CKLESON, S. G.; DAVIS, R. E.; FEDDEMA, J. J.; KLINK, K. M.; LEGATES, D. R.; O'DONNELL, J.; ROWE, C. M. (1985) Statistics for the evaluation and comparison of models. *Journal of Geophysical Research*, Ottawa, 90: 8895-9055.