

## Geoinformação e Sensoriamento Remoto em Geografia

# Ação automática GEE-SEBAL e do Sistema de Unidades de Resposta Hidrológica para Pernambuco (SUPER) para regiões hídricas de Serra Talhada no estado de Pernambuco

Analysis of the GEE-SEBAL automatic evapotranspiration products and the System of Hydrological Response Units for Pernambuco (SUPER) for water regions of serra talhada in the state of Pernambuco

Jadson Freire-Silva<sup>1</sup>, Josimar Vieira dos Reis<sup>1</sup>, Tayran Oliveira dos Santos<sup>1</sup>, Henrique dos Santos Ferreira<sup>1</sup>, Mario de Miranda Vilas Boas Ramos Leitão<sup>2</sup>, Josiclêda Domiciano Galvíncio<sup>1</sup>, Ana Lúcia Bezerra Candeias<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brasil

<sup>2</sup>Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro, BA, Brasil

## RESUMO

Estudar a evapotranspiração nas áreas de entorno de reservatórios de regiões semiáridas é de extrema importância, pois contribui para um melhor planejamento e tomada de decisão acerca dos recursos hídricos. O objetivo deste estudo foi analisar os resultados de evapotranspiração diária de projetos GEE-SEBAL e do Sistema de Unidades de Resposta Hidrológica para Pernambuco (SUPER) para áreas do entorno de reservatórios no semiárido pernambucano. A coleta de dados compreendeu em quatro imagens Landsat 8 de anos 2013, 2014, 2015 e 2016 junto ao processamento (2000 – 2016) das informações hidrológicas no SUPER para uma área experimental no município de Serra Talhada-PE, essa compreendendo o entorno de três reservatórios. No ano de 2013 observou-se uma elevada (5 a 7 mm) evapotranspiração em grande parte da região. Em 2014 verifica-se evapotranspirações predominantes no intervalo de (1 a 3 mm) que acompanharam as informações climatológicas. No ano de 2015 mostrou-se os seus maiores intervalos de evapotranspiração nos reservatórios (5 a 7 mm) enquanto no ano de 2016 as evapotranspirações se intensificaram, podendo ser observadas em todas as sub-bacias em estudo, onde a continuidade dos períodos de seca em ambiente semiárido pode ter contribuído. Tratando-se de valores homogêneos para cada sub-bacia, não é possível comparar com precisão os resultados da modelagem com as imagens, uma vez que os produtos do SR são distribuídos de forma heterogênea. Contudo, a partir dos produtos é notável a relevância de imbricar os resultados oriundos do Sensoriamento Remoto e da Modelagem Hidrológica para o acompanhamento de ambientes hídricos de interesse.

**Palavras-chave:** Recursos hídricos; Sensoriamento remoto; Geoprocessamento

## ABSTRACT

---

Studying evapotranspiration in the surrounding areas of reservoirs of semi-arid regions is extremely important, as it contributes to better planning and decision-making about water resources. The aim of this study was to analyze the results of daily evapotranspiration of GHG-SEBAL projects and the Hydrological Response Unit System for Pernambuco (SUPER) for areas surrounding reservoirs in the semi-arid region of Pernambuco. Data collection comprised in four Landsat 8 images from years 2013, 2014, 2015 and 2016 along with the processing (2000 - 2016) of hydrological information in the SUPER for an experimental area in the municipality of Serra Talhada-PE, comprising the surroundings of three reservoirs. In 2013, there was a high (5 to 7 mm) evapotranspiration in most of the region. In 2014 there were predominant evapotranspirations in the range of (1 to 3 mm) that followed the climatological information. In 2015, its greatest evapotranspiration intervals were shown in the reservoirs (5 to 7 mm) while in 2016 evapotranspirations intensified and can be observed in all sub-basins under study, where the continuity of dryness periods in a semi-arid environment may have contributed. In the case of homogeneous values for each sub-basin, it is not possible to accurately compare the results of modeling with the images, since the SR products are distributed heterogeneously. However, from the products it is remarkable the relevance of imbrating the results derived from Remote Sensing and Hydrological Modeling for the monitoring of water environments of interest.

**Keywords:** Water resources; Remote sensing; Geoprocessing

## 1 INTRODUÇÃO

Debruçando-se na relevância em estudar os ambientes hidrológicos e as novas técnicas de monitoramento contínuo dessas regiões oriundos da modelagem ambiental e do Sensoriamento Remoto, o objetivo dessa pesquisa é analisar os resultados de evapotranspiração diária de projetos automáticos GEE-SEBAL e SUPER para áreas do entorno de reservatórios alocados no semiárido pernambucano.

Ao longo dos anos observa-se os ambientes lacustres como os principais locais para inclusão e manutenção populacional ao redor do globo. Nota-se civilizações formando-se e suas disseminações derivando de acordo com a disposição de água potável e de suas áreas férteis oriundas de seu entorno. Assim, cria-se mecanismos de conservação dessas regiões, onde os reservatórios, sendo esses artificiais ou não se incluem. Segundo a Agência Nacional das Águas – ANA (2021), os reservatórios de água são regiões acumuladas de fluidos hídricos voltados ao consumo humano oriunda de uma barragem, está definida como uma estrutura física que represa o curso da água.

As recentes discussões climáticas alertaram acerca do aumento da temperatura da terra e suas implicações nas áreas urbanas onde os mais recentes relatórios do Intergovernmental Panel on Climate Change vem considerando a chance de 99,9% que o homem interferiu diretamente nas dinâmicas climáticas globais (IPCC, 2021). Fomentando essa visão, os relatórios reforçam o alerta sobre as mudanças climáticas, onde verifica-se através dos modelos de projeções climáticas a interferência antrópica nas modificações do clima (JURAS, 2013). No Brasil, as regiões mais atingidas com as mudanças climáticas serão o Norte e o Nordeste, onde destaca-se o semiárido nordestino, que segundo Ambrizzi *et al.* (2007) diversos ambientes passariam da condição de semiárido para árido, acarretando mudanças na vegetação nativa, na demanda hídrica e na sociedade em geral.

No trabalho de Marengo *et al.* (2016), observou-se que a partir das mudanças climáticas os eventos extremos de secas no Nordeste podem ser potencializados, podendo acarretar na redução das chuvas e na interferência direta na diminuição das cotas e volume dos reservatórios, especialmente os pequenos reservatórios, alterando o contorno das margens e expondo solos de novas superfícies (NOBRE *et al.*, 2007; NOBRE, 2008). Aprofundando-se nos aspectos das regiões semiáridas, nota-se que as mesmas têm como características marcantes a distribuição irregular ou a má distribuição da precipitação anual, vegetação adaptada às secas, os solos rasos ricos em minerais, elevadas taxas de evapotranspiração e rios intermitentes (MMA, 2021).

Estas características se intensificam ainda mais em anos de El Niño, isto porque este fenômeno está associado à redução das chuvas no Norte e Nordeste do país, sua formação se dá através do aquecimento anormal do Oceano Pacífico, ocasionando secas severas (KAYANO e MOURA, 1986; MARENGO, 1992; MELO, 1999).

Outro fenômeno que influencia o clima da região Nordeste é a La Niña, que tem como característica o resfriamento das águas do Oceano Pacífico, ao contrário do El Niño, o fenômeno La Niña provoca um aumento nos índices pluviométricos, o que intensifica a temporada chuvosa desta região, ocasionando o aumento do lençol freático e amenizando o déficit hídrico (BRITO *et al.*, 1998; PEREIRA, 2011).

Em ambientes que são marcados por características climatológicas adversas, tal como o semiárido, mecanismos que auxiliam no armazenamento, distribuição e potencialização do recurso hídrico são utilizados para prover amparos aos centros urbanos e atividades agrícolas. O monitoramento e a análise dessas regiões também são consideradas, uma vez que se observa em ambientes com disponibilidade e equilíbrio hídrico a elevação de indicadores sociais, de desenvolvimento econômico, populacional e suas dinâmicas junto a municípios arredores.

Desta forma, a utilização de informações do Sensoriamento Remoto (SR) e de Modelagens Ambientais são uma alternativa relevante ao tema, uma vez que com as respectivas é possível a observação de grandes áreas e de parâmetros sensíveis por um custo inferior a visitas in loco e análises ambientais físicas.

As imagens de satélite gratuitas presentes nos projetos Landsat, Sentinel e CBERS podem ser os exemplos mais comuns de utilização de produtos do Sensoriamento Remoto para monitoramento terrestre (WULDER *et al.*, 2016; ESA, 2021; CBERS, 2021). Na atualidade, a utilização de produtos pré-estabelecidos e automatizados do SR e projetos hidrológicos de longa duração também se incluem como ferramentas analíticas importantes, principalmente para gerenciamento mais velozes e facilitação do entendimento das técnicas. O GEE Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) (LAIPELT *et al.* 2021) e o SUPer (Sistema de Unidades de Resposta Hidrológica para Pernambuco) são algoritmos automáticos que exemplificam como é possível a utilização de produtos automatizados de qualidade para análises ambientais e hidrológicas para ambientes de interesse.

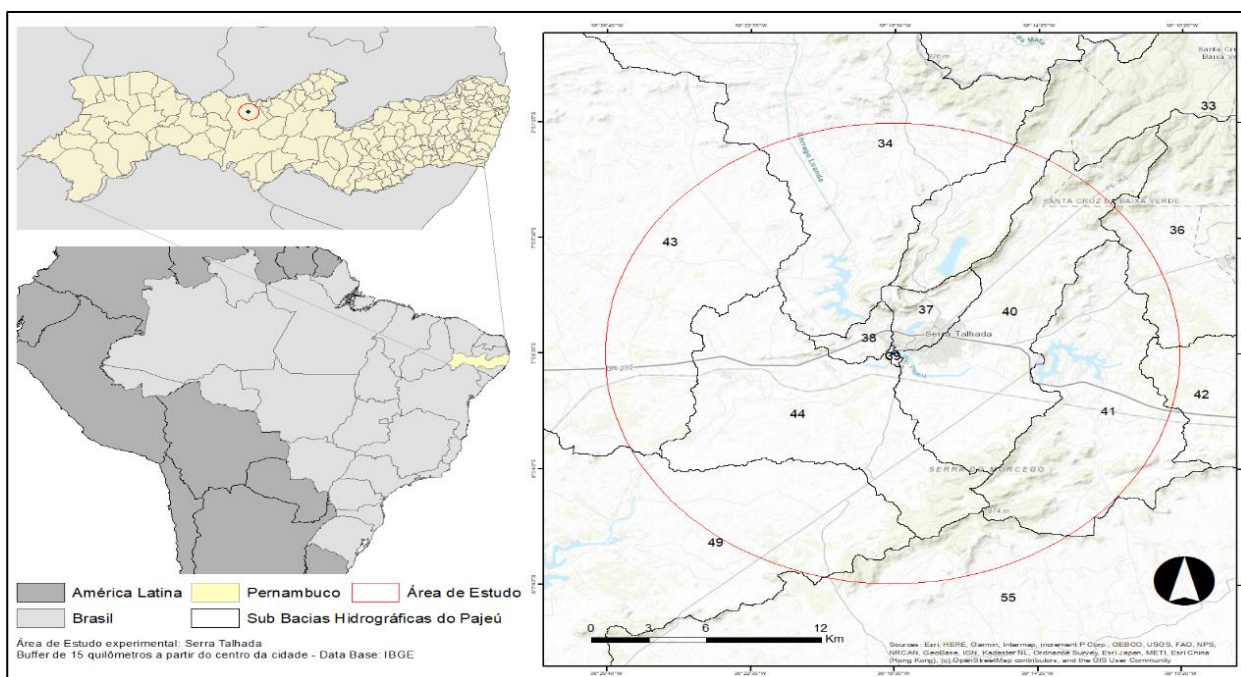
O clima da área de estudo possui baixo índice de precipitação, então estudar o comportamento da evapotranspiração é de extrema relevância, uma vez que, através do monitoramento é possível melhorar o planejamento e a tomada de decisão. Nesse sentido, a presente pesquisa busca analisar a evapotranspiração dos anos estudados através dos produtos automáticos do GEE-SEBAL e do SUPeR.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 Caracterização da área de estudo

A área de estudo experimental está inclusa na região de Serra Talhada, localizado na microrregião do Pajeú pernambucano. A região está inserida na Depressão Sertaneja e possui uma precipitação média anual de 642,1 mm ao ano (SILVA *et al.*, 2014; SILVA *et al.*, 2015). Sendo uma relevante unidade geoambiental nordestina, com predominância das inserções de relevo suave-ondulado (Figura 1).

Figura 1 – Área de Estudo Experimental de Serra Talhada



Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

A área em questão mantém solos rasos e drenados, com os Luvisolos estando em maior domínio e vegetação composta pela Caatinga Hiperxerófila junto a situações de floresta caducifólia. As características climatológicas compreendem a temperatura média anual de 25,7° Celsius, precipitação anual de 696 mm e está definida pela classificação de Köppen no clima Tropical Semiárido (CPRM, 2005). O território é banhado pelo rio Pajeú e três reservatórios, sendo um dos mais importantes municípios do semiárido, com IDH de 0,661, o 19º do Estado entre 185 catalogados (IBGE, 2010).

A Figura 1 demonstra uma área experimental partindo do centro da cidade de Serra Talhada em um raio de 15 quilômetros (706,08 quilômetros quadrados); através dessa distância estabelecida foi possível abarcar os 3 reservatórios da região (córrego Luanda, o Açude Borborema e Açude do Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA). As sub-bacias hidrográficas do Pajeú analisadas nesse recorte foram 33, 34, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 49 e 55.

## **2.2 GEE Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL)**

O geeSEBAL é um projeto experimental de automatização do processamento de imagens Landsat através da rede computacional em nuvem da Google (Google Earth Engine cloud computing). Desenvolvido por Laipelt *et al.* (2021) e com base em Allen *et al.* (2013), os produtos são disponibilizados em sítio eletrônico <https://leolaipelt.users.earthengine.app/view/geesebal> envolvendo as imagens em sua composição base (RGB), o NDVI, a temperatura de superfície (LST) e evapotranspiração (EF/ET-diária). A Tabela 1 revela as imagens obtidas para análise em questão.

Observa-se na tabela acima que foram coletadas 4 (quatro) imagens Landsat 8 em períodos temporais distintos (2013, 2014, 2015 e 2016), respeitando a disponibilidade para área em relação ao percentual de cobertura de nuvens (abaixo de 10%). O download do produto compreendeu a evapotranspiração diária.



O satélite Landsat 8 tem uma resolução temporal de 16 dias e 30 metros de resolução espacial.

Tabela 1 – Dados das imagens de satélites coletadas para pesquisa

<b>Data de imagem:</b>	<b>30/10/2013</b>	<b>26/05/2014</b>	<b>21/11/2015</b>	<b>23//11/2016</b>
Satélite:	Landsat 8	Landsat 8	Landsat 8	Landsat 8
Órbita:	216	216	216	216
Ponto:	65	65	65	65
Cobertura % de nuvens:	5.75%	9%	3%	3%
Produto coletado	Evapotranspiração Diária ( <i>ET — Daily</i> )			

Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

### **2.3 Sistema de Unidades de Resposta Hidrológica para Pernambuco – SUPer**

Foi utilizado o SUPer- Sistema de Unidades de Respostas Hidrológicas para Pernambuco, para discutir os resultados com o balanço de hídrico de bacias de Pernambuco, para discutir os resultados com o balanço de hídrico de bacias de Pernambuco, site: <https://super.hawqs.tamu.edu/>. Utilizando como base o modelo hidrológico SWAT - Soil and Water Assessment Tool, o Sistema de Unidades de resposta hidrológica para Pernambuco (SUPer) é um projeto automático de modelagem hidrológica pernambucano que fornece via interface interativa informações pré-estabelecidos sobre as bacias hidrográficas do estado. Através da manipulação do SUPer é possível obter tabelas, mapas e gráficos relevantes sobre sedimentos, patógenos, nutrientes, DBO/DQO, pesticidas e temperatura da água (SUPER, 2021).

O SUPer fornece uma interface interativa da web e mapas; dados de entrada pré-carregados; resultados que incluem tabelas, gráficos e dados de saída; um guia do usuário, e projetos de modelagem com desenvolvimento, execução e armazenamento online para os usuários (GALVÍNCIO, 2021).

Caso o trabalho exija mais uma subseção, este modelo deve ser utilizado. Os títulos das seções e subseções devem seguir uma ordem lógica e apresentados de acordo com este modelo.

Os efeitos da modelagem podem ser utilizados para a gestão hídrica regional e as suas respectivas tomadas de decisão, sendo disponibilizados gratuitamente em sítio eletrônico (<https://super.hawqs.tamu.edu/#/>). Os dados podem ser observados em amplo espectro, podendo subsidiar outras pesquisas e promover práticas responsivas de gestão das águas. A Tabela 2 demonstra as informações importantes de composição da modelagem em pesquisa.

Tabela 2 – Informações sobre a modelagem hidrológica da pesquisa

Starting simulation date	01/01/2000
Ending simulation date	12/31/2016
Set-up/warm-up years	3
SWAT output print setting	Daily
SWAT model version to run	SWAT 2012 rev. 670
Output collected	Daily Average ET (mm) and ET Actual evapotraspiration (mm H <sub>2</sub> O) for interest area

Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

## 2.4 Processamento no SWAT

Os processos físicos associados ao movimento da água e dos sedimentos, crescimento de plantas, ciclagem de nutrientes e outros, são modelados diretamente pelo SWAT por meio destes dados de entrada (NEITSCH *et al.*, 2011). O SWAT considera a bacia dividida em sub-bacias com base em suas propriedades físicas, preservando os parâmetros espacialmente distribuídos e as características homogêneas da bacia inteira. A subdivisão de uma bacia hidrográfica em sub-bacias permite caracterizar melhor os problemas difusos, tornando mais fácil a identificação de focos de degradação de recursos naturais, a natureza dos



processos de degradação e o grau de comprometimento e sustentabilidade do meio.

Segundo Neitsch *et al.* (2011), a fase da terra do ciclo hidrológico simulado pelo SWAT é baseado na equação do balanço hídrico, que é a força responsável por tudo que ocorre na bacia hidrográfica, dado pela seguinte Equação (1):

$$SW_t = SW_0 + \sum_i^t (R_{day} - Q_{curf} - E_a - W_{ceep} - Q_{gw}) \quad (1)$$

Onde:  $SW_t$  é a quantidade de água no solo da camada da zona radicular simulada no tempo  $t$  (mm);  $SW_0$  é a quantidade inicial de água no solo no dia  $i$  (mm);  $t$  é a duração do ciclo hidrológico simulado (dias);  $R_{day}$  é a quantidade de água precipitada no dia  $i$  (mm);  $Q_{curf}$  é a quantidade de escoamento superficial no dia  $i$  (mm);  $E_a$  é quantidade de água evapotranspirada no dia  $i$  (mm);  $W_{ceep}$  é a quantidade de água que percola da camada simulada para a camada inferior no dia  $i$  (mm);  $Q_{gw}$  é a quantidade de água que retorna ao curso d'água no dia  $i$  devido ao escoamento sub-superficial (mm).

Já para o cálculo de estimativa do escoamento superficial, o SWAT fornece os métodos da Curva Número (CN) e o de infiltração de Green e Ampt, e para o cálculo da evapotranspiração o modelo disponibiliza os métodos de Penman-Monteith, Priestley- Taylor e o de Hargreaves.

O método da Curva Número (CN), desenvolvido pelo Soil Conservation Service (SCS) órgão do United States Department of Agriculture (USDA) é utilizado para estimar o escoamento superficial. Ele utiliza dados de precipitação e dos parâmetros de retenção, que variam de acordo com o solo, o uso do solo, declividade, e conteúdo da água (PRUSKI; GRIEBELER; SILVA, 2001; TONG; NARAMNGAM, 2007). Quanto maior o coeficiente de CN, maior o potencial de escoamento superficial (ABBASI; MANNARTS; MAKAU, 2019). De tal forma, o modelo de CN determina também, a quantidade de chuva que infiltra no solo ou no aquífero (ZHAN; HUANG; AVE, 2004).

Para simulação da carga de sedimentos nas bacias, é utilizada a Equação da Perda de Solo Modificada (Modified Universal Soil Loss Equation - MUSLE). O modelo foi estruturado com base em uma combinação linear dos parâmetros mais correlacionados com o processo de erosão da água no solo por (WISCHMEIER;

SMITH, 1978). Estes parâmetros são de fundamental importância para entender a dinâmica do transporte dos químicos no meio ambiente (ABBASI; MANNAERTS; MAKAU, 2019; LUO; ZHANG, 2009).

Para este estudo, aplicou-se uma simulação de 16 anos (2000-2016) com (três) anos para aquecimento, correções e ajustes modulares. O início da simulação hidrológica deu-se em 01/01/2000 com finalização em 31/12/2016, em intervalo diário e com a versão do SWAT 2012 ver.670. Coletou-se informações sobre média diária de evapotranspiração (geral) bem como os dados mensais de evapotranspiração para cada sub-bacias hidrológicas de interesse.

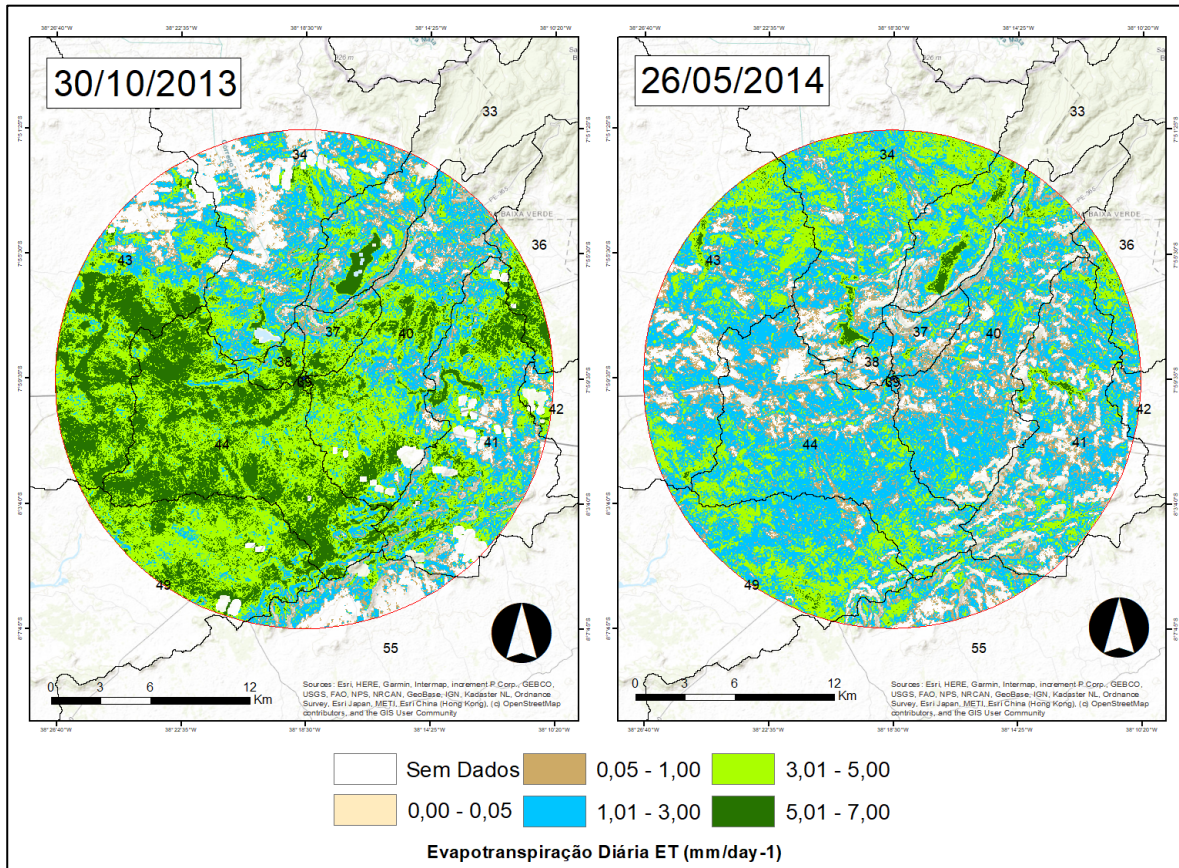
### **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os resultados obtidos estão presentes nas Figuras 2 e 4 para as imagens de satélite processadas automaticamente no GEE-SEBAL e na Figura 5 e Tabela 3 para as informações sobre evapotranspiração das sub-bacias da região hidrológica do Pajeú via SUPer.

Observando a Figura 2, percebe-se para o período de 2013 uma elevada evapotranspiração em grande parte da região em estudo. Martins e Magalhães (2015) analisando os períodos de seca no semiárido entre 2012 a 2015 verificou que a média mensal de precipitação nordestina para outubro-novembro (2013) alcançou patamares próximos de 25~40 mm com grandes perdas econômicas e sociais relatados. As sub-bacias de número 39, 40, 43, 44, 49, 33 (reservatório), 34 (reservatório) e 41 (reservatório) apresentaram as evapotranspirações entre 5 a 7 mm.

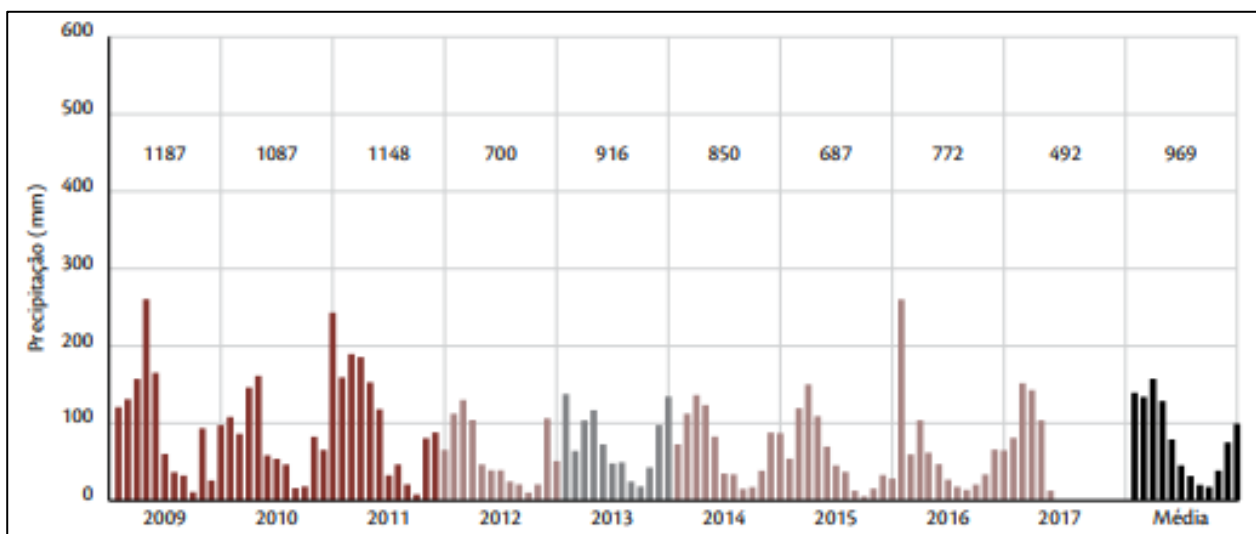
Ainda na Figura 2 ao ano de 2014 verifica-se evapotranspirações predominantes no intervalo de 1 a 3 mm que acompanham as informações climatológicas positivas no período (Figura 3). Ressalta-se que as maiores evapotranspirações presentes estão nos ambientes hídricos – reservatórios da região (com intervalos de 5 a 7 mm), o que levanta a necessidade de mecanismos que mitiguem a elevada perda hídrica em reservatórios nos territórios semiáridos.

Figura 2 – Informações sobre evapotranspiração diária para a área de estudo em 2013 e 2014



Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

Figura 3 – Precipitação média anual da Região Nordeste para o período 2009 – 2017

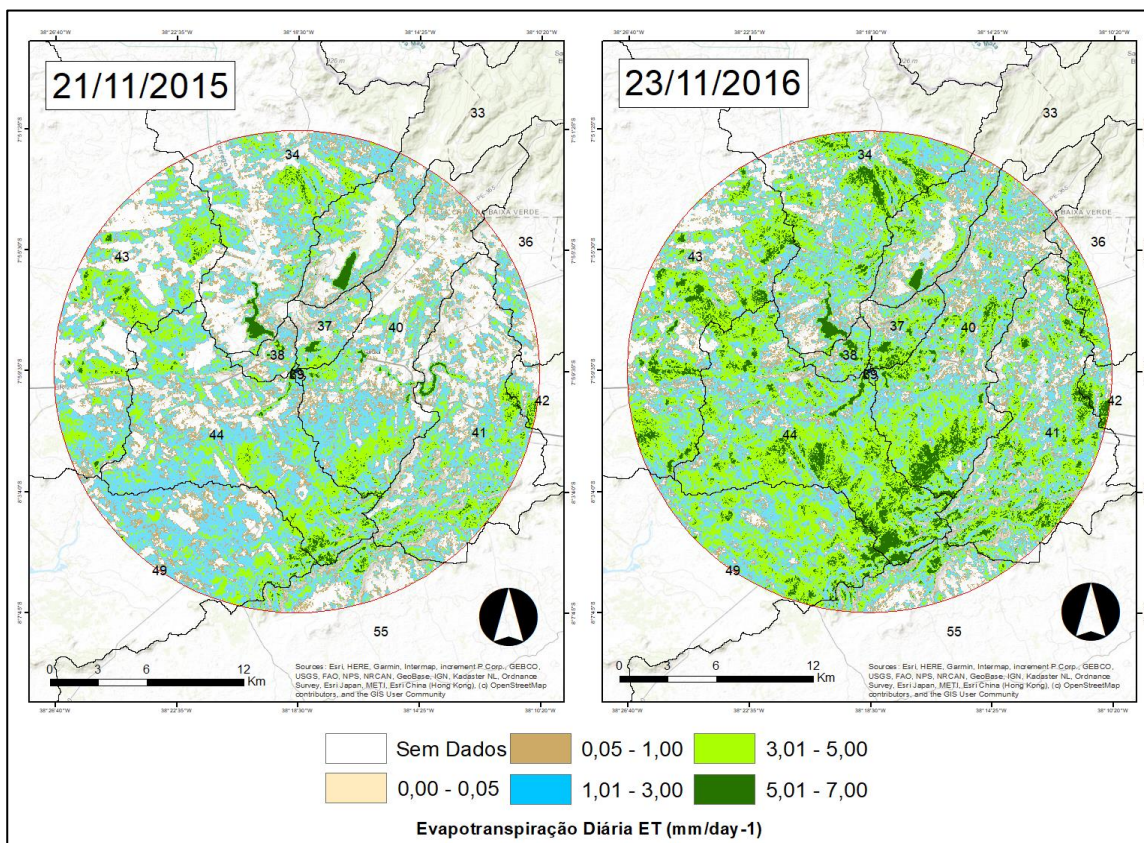


Fonte: Martins, Magalhães e Fontenele (2017)



A Figura 4 apresenta informações da evapotranspiração diária obtida pelo processamento de imagens automáticas do GEE-SEBAL para os anos de 2015 e 2016 na área de estudo.

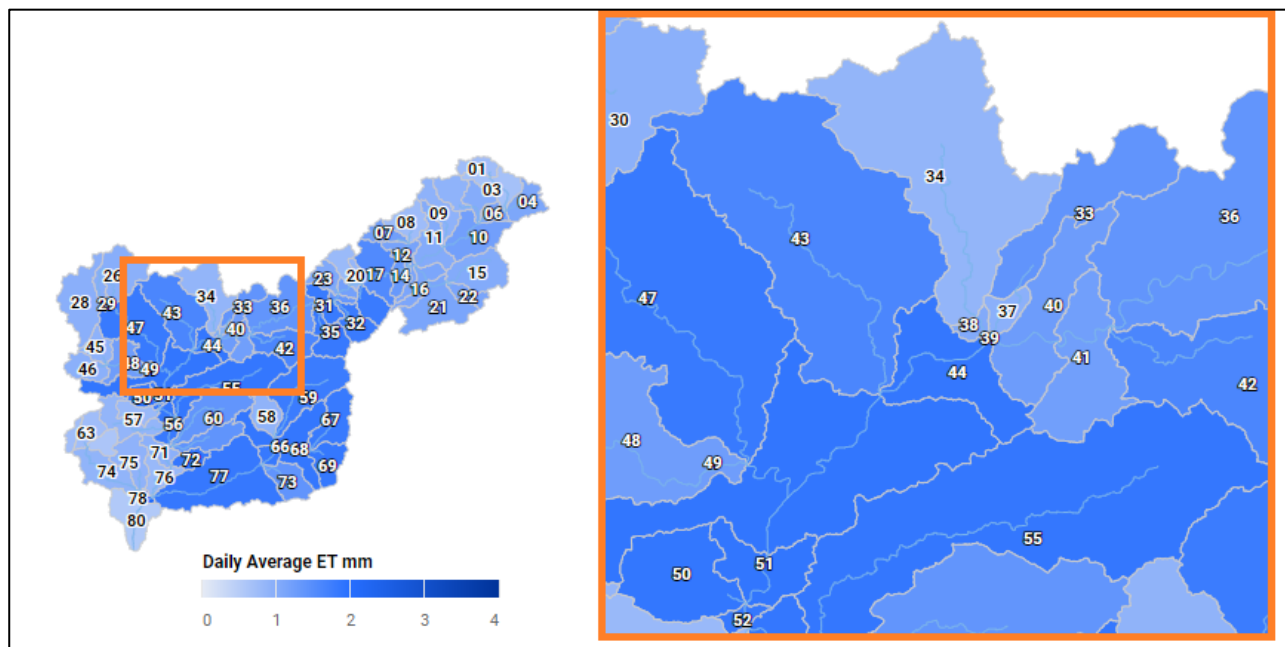
Figura 4 – Informações sobre evapotranspiração diária para a área de estudo em 2015 e 2016



Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

Martins, Magalhães e Fontenele (2017) apresentam para ambos os anos (2015 e 2016) informações climáticas para o Nordeste do Brasil que indicaram secas contínuas. A Figura 4 no ano de 2015 mostrou-se os seus maiores intervalos de evapotranspiração nos reservatórios (5 a 7 mm) seguido das áreas mais elevadas (3 a 5 mm). No ano de 2016 as evapotranspirações se intensificaram, podendo ser observadas em todas as sub-bacias em estudo. A Figura 5 e a respectiva Tabela 3 apresentam os resultados obtidos no SUPER.

Figura 5 – Informações sobre evapotranspiração diária para a área de estudo em 2015 e 2016



Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

Tabela 3 – Informações obtidas dos gráficos do SUPer para as sub-bacias de interesse

Sub-Basin Number	33	34	36	37	38	39	40	41	42	43	44	49	55
ET - Daily Average - General (mm)	1,39	0,86	1,37	0,95	1,04	1,76	1,26*	1,22	1,61*	1,61*	1,85	1,88*	1,85*
ET - Actual Evapotranspiration (Month)													
30/10/2013	0,27	0,01	0,6	0,09	0,13	0,1	0,84	0,49	0,45	0,93	0,1	1,12	0,95
ET - Actual Evapotranspiration (Month)													
26/10/2014	2,47	1,52	2,48	2,04	2,23	2,6	2,24	2,22	2,11	2,42	2,66	2,79	2,76
ET - Actual Evapotranspiration (Month)													
21/11/2015	0,21	0,06	0,04	0,02	0,01	0,18	0,06	0,01	0,56	0,19	0,19	0,42	0,42
ET - Actual Evapotranspiration (Month)													
23/11/2016	0,06	0,02	0,09	0	0	0,41	0,92	0,78	0,78	0,76	0,45	0,46	0,39

Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

Legenda: \*A média dos valores de evapotranspiração mensais acompanham o resultado geral de evapotranspiração média

No resultado da modelagem é notável que a Figura 5 tem sua variação de evapotranspiração no intervalo de 0 a 4 mm; quando há um enfoque na área de estudo, observa-se os valores elevando-se enquanto intervalo, este de 0,86 a 1,88

mm. Quando se verifica os acumulados mensais de evapotranspiração para cada sub-bacia nota-se informações distintas dos valores gerais do próprio modelo e por se tratar de valores generalizados para determinado território, não é possível comparar com os valores presentes nos produtos do GEE-SEBAL, visto que o respectivo se apresenta de forma heterogênea no espaço. Apresentando-se de forma semelhante ao GEE-SEBAL existe a plataforma METRIC – EEFLUX - Earth Engine Evapotranspiration Flux, que também utiliza a plataforma Google Earth Engine com produtos automáticos RGB, albedo, NDVI, DEM, mapa de uso, temperatura de superfície e evapotranspirações (EEFLUX, 2021).

A utilização de técnicas do Sensoriamento Remoto e da modelagem hidrológica não são dicotômicas uma vez que uma supre as necessidades presentes. No Sensoriamento Remoto sendo representado pelos produtos automáticos do GEE-SEBAL foi possível observar, além da possibilidade de monitoramento, um panorama de como a evapotranspiração se manifesta dinamicamente nos territórios do entorno do reservatório e sobretudo dentro dele, verificando que em ambientes semiáridos, esses locais mantêm elevados intervalos de evapotranspiração. A modelagem hidrológica por sua vez, apresenta séries temporais robustas e auxiliam a precariedade temporal da coleta de informações das imagens de satélite, onde existe a problemática de resolução temporal (Landsat 2 imagens por mês) e de qualidade de imagens (nuvens, ruídos e voids, por exemplo).

Através do SUPer é possível normalizar os extremos catalogados nas informações presentes da imagem de satélite oriundo do recorte diário no momento de composição da mesma. Desta forma, a união das técnicas em prol do monitoramento hidrológico vem a somar não somente a pesquisa sobre o tema, mas a gestão hídrica em ambientes de interesse em diferentes escalas. Vale ressaltar que outras informações tais como presença ou não de El Niño no referido ano, séries de clima da região, posicionamento da ZCIT (MARTINS; MAGALHÃES; FONTENELE., 2017) e outros questionamentos que consigam explicar situações

excepcionais devem ser consideradas junto as imagens de satélite e da modelagem como um todo.

#### **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

No ano de 2013 observou-se uma elevada (5 a 7 mm) evapotranspiração em grande parte da região em estudo. Mesmo em ano de seca, em 2014 verifica-se evapotranspirações predominantes no intervalo de 1 a 3 mm que acompanham as informações climatológicas positivas no período. Ressalta-se que as maiores evapotranspirações presentes estão nos ambientes hídricos – reservatórios da região (com intervalos de 5 a 7 mm). No ano de 2015 mostrou-se os seus maiores intervalos de evapotranspiração nos reservatórios (5 a 7 mm) seguido das áreas mais elevadas (3 a 5 mm) enquanto no ano de 2016 a evapotranspirações se intensificaram, podendo ser observadas em todas as sub-bacias em estudo, onde a continuidade dos períodos de secura em ambiente semiárido pode ter contribuído nesses resultados.

Observando os dados da modelagem hidrológica para a bacia hidrográfica do Pajeú, nota-se que a referida compreende ao intervalo de 0 a 4 mm; quando há um enfoque na área de estudo, observa-se os valores nos intervalos de 0,86 a 1,88 mm. Por se tratar de valores homogêneos para cada sub-bacia, não é possível comparar com precisão os resultados da modelagem com as imagens de satélite, uma vez que os produtos do SR são distribuídos de forma heterogênea no território. Contudo, a partir dos produtos é notável a relevância de imbricar os resultados oriundos do Sensoriamento Remoto e da Modelagem Hidrológica para o acompanhamento de ambientes hídricos de interesse e o auxílio na tomada de decisão e pesquisa acadêmica. Recomenda-se novas pesquisas comparativas e analíticas com o processamento automático de produtos do Sensoriamento Remoto bem como outros resultados frutos das modelagens hidrológicas automáticas.



## AGRADECIMENTOS

Este estudo apenas foi possível graças ao apoio financeiro da Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE), que financiou o processo de bolsas dos estudantes de pós-graduação envolvidos nesta investigação. Agradecemos também à Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA). Como, aos Laboratórios de Sensoriamento e Geoprocessamento (SERGEO) e Análise e Processamento de Imagens (APRIM) e o Laboratório de Meteorologia (LABMET) da Universidade do Vale do São Francisco (UNIVASF). Obrigado por todo o apoio no desenvolvimento deste estudo.

## REFERÊNCIAS

ABBASI, Y.; MANNAERTS, C. M.; MAKAU, W. **Modeling pesticide and sediment transport in the Malewa River Basin (Kenya) using SWAT**. *Water (Switzerland)*, v. 11, n. 1, 2019.

ALLEN, R. G.; BURNETT, B.; KRAMBER, W.; HUNTINGTON, J.; KJAERGAARD, J.; KILIC, A.; KELLY, C.; TREZZA, R. Automated Calibration of the METRIC-Landsat Evapotranspiration Process. **Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)**. v. 49, n. 3, p. 563–576, 2013.

AMBRIZZI, T. *et al.* **Cenários regionalizados de clima no Brasil para o século XXI**: projeções de clima usando três modelos regionais: relatório 3. Brasília: MMA, 2007.

ANA - Agência Nacional de Águas. **O que é reservatório**. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br>. Acesso em: 24 jul. 2021.

BRITO, J. I. B.; SOUZA, I. A.; ARAGÃO, J. O. R. Ligações entre o El Niño e possíveis processos de desertificação no estado do Rio Grande do Norte. *In*: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 10, 1998, Brasília. **Anais[...]**. Brasília: Sociedade Brasileira de Meteorologia, v. 1, 1998.

CBERS. **Sobre o CBERS**. 2021. Disponível em: <http://www.cbears.inpe.br/sobre/index.php>. Acesso em: 24 jul. 2021.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. 2005. **Diagnóstico do Município de Serra Talhada - PE**. Ministério de Minas e Energia, Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. Recife, 22 p. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/rehi/atlas/pernambuco/relatorios/SETA148.pdf>. Acesso em: 24 jul. 2021

MELO, J. C. de. O fenômeno El Niño e as secas no Nordeste do Brasil. **Raízes: Revista de Ciências Sociais e Econômicas**, n. 20, p. 13-21, 1999.

EEFLUX. **FAQ**. 2021. Disponível em: <https://eeflux-level1.appspot.com>. Acesso em: 24/07/2021.

ESA. **Missions Sentinel**. 2021. Disponível em:  
<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2>. Acesso em: 24/07/2021.

GALVINCIO, J. D. Impacto do aumento de CO<sub>2</sub> nas precipitações do estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v. 14, n. 3, p. 1828-1839, 2021.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **População no último censo e Índice de Desenvolvimento Humano - IDH**: IBGE, Censo Demográfico 2010. Disponível em:  
<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/serra-talhada/panorama>. Acesso em: 24 jul. 2021.

IPCC, 2021: Sumário para Formuladores de Políticas. //: **Mudança do Clima 2021: A Base da Ciência Física. Contribuição do Grupo de Trabalho I ao Sexto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas** [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. No Prelo. Disponível em: IPCC\_mudanca2.pdf (www.gov.br). Acesso em: 29 jul. 2022.

JURAS, I. da A. G. M. **Mudança do clima**: principais conclusões do 5º Relatório do IPCC. Brasília: Câmara dos Deputados/Consultoria Legislativa, 2013. Disponível em:  
[http://www2.camara.leg.br/documentos-e-pesquisa/publicacoes/estnottec/areas-daconle/tema14/2013\\_24881.pdf](http://www2.camara.leg.br/documentos-e-pesquisa/publicacoes/estnottec/areas-daconle/tema14/2013_24881.pdf). Acesso em: 25 ago. 2021.

KAYANO, M.T.; MOURA, A.D. O El Nino de 1982-83 e a precipitação sobre a América do Sul. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 4, p. 201-214, 1986.

LAIPELT, L.; RUHOFF, A. L.; FLEISCHMANN, A. S.; KAYSER, R. H. B.; KICH, E. M.; ROCHA, H. R. da; NEALE, C. M. U. Assessment of an Automated Calibration of the SEBAL Algorithm to Estimate Dry-Season Surface-Energy Partitioning in a Forest-Savanna Transition in Brazil. **Remote Sens.**, v. 12, n. 7, p. 1-23, 2020, 1108.

LUO, Y; ZHANG, M. Management-oriented sensitivity analysis for pesticide transport in watershed-scale water quality modeling using SWAT. **Environmental Pollution**, v. 157, n. 12, p. 3370-3378, 2009.

MARENGO, J. A. Interannual variability of surface climate in the Amazon basin. **International Journal of Climatology**, v. 12, p. 853-863, 1992.

MARENGO, J. A.; CUNHA, A. P; ALVES, L. M. A seca de 2012-15 no semiárido do Nordeste do Brasil no contexto histórico. **Revista Climanalise**, v. 3, p. 49-54, 2016.

MARTINS, E. S.; MAGALHÃES, A. R. A seca de 2012-2015 no Nordeste e seus impactos. **Parc. Estrat**, Brasília – DF, v. 20, n. 41. p. 107-128, 2015.

MARTINS, E. S.; MAGALHÃES, A. R.; FONTENELE, D. A seca pluriannual de 2010-2018 no Nordeste e seus impactos. **Parc. Estrat**, Brasília – DF, v. 22, n. 44. p. 17-40. jan-jun, 2017.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Gestão Territorial - Desertificação**. 2021. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/perguntasfrequent.html?catid=19>. Acesso em: 24 jul.2021.

NEITSCH, S. L.; ARNOLD, J. G.; KINIRY, J. R.; WILLIAMS, J. R. **Soil and Water Assessment Tool "SWAT": Ferramentas de Avaliação de Solo & Água**. Documentação Teórica Versão 2009. College Station, Texas: Instituto de Recurso Hídricos do Texas, 2011.

NOBRE, C. A; SAMPAIO, G.; SALAZAR, L. F. Mudanças climáticas e Amazônia. **Ciência e Cultura**, v. 59, p. 22-27, 2007.

NOBRE, P. Aquecimento global, oceanos & sociedade. Interfacehs: **Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente**, v. 3, n. 1, a. 1, jan./abr. 2008.

PEREIRA, V. *et al.* Influência dos eventos El Niño e La Niña na precipitação pluviométrica de Mossoró-RN. **Enciclopédia Biosfera**, v. 7, n. 12, 2011.

PRUSKI, F. F.; GRIEBELER, N. P.; SILVA, D. D. Comparação entre dois métodos para a determinação do volume de escoamento superficial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 2, p. 403–410, 2001.

SILVA, T. G. F.; MIRANDA, K. R.; SANTOS, D. C.; QUEIROZ, M. G.; SILVA, M. C.; CRUZ NETO, J.F.; ARAÚJO, J. E. M. Área do cladódio de clones de palma forrageira: modelagem, análise e aplicabilidade. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.9, n.4, p.633-641, 2014.

SILVA, T. G. F.; ARAÚJO PRIMO, J. T.; MOURA, M. S. B.; SILVA, S. M. S.; MORAIS, J. E. F.; PEREIRA, P. C.; SOUZA, C. A. A. Soil water dynamics and evapotranspiration of forage cactus clones under rainfed conditions. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.50, n.7, p.515-525, 2015.

SUPER - Sistema de Unidades de resposta hidrológica para Pernambuco. **O que é o super**. 2021. Disponível em: <https://super.hawqs.tamu.edu/#>. Acesso em: 24 jul 2021.

TONG, S. T. Y.; NARAMNGAM, S. Modeling the impacts of farming practices on water quality in the Little Miami River basin. **Environmental Management**, v. 39, n. 6, p. 853–866, 2007.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses – A guide to conservation planning**. Washington: USDA, 1978.

WULDER, M. A., WHITE, J. C., LOVELAND, T. R., WOODCOCK, C. E., BELWARD, A. S., COHEN, W. B., FOSNIGHT, E. A., SHAW, J., MASEK, J. G., ROY, D. P. The global Landsat archive: status, consolidation, and direction. **Remote Sens. Environ.** v. 185, p. 271–283, 2016.

ZHAN, X; HUANG, M. ArcCN-Runoff: an ArcGIS tool for generating curve number and runoff maps. **Environmental Modelling & Software**, v. 19, p. 875–879, 2004.

## **CONTRIBUIÇÃO DE AUTORIA**

### **1 – Jadson Freire-Silva**

Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente

<https://orcid.org/0000-0002-1106-0688> • [jadsonfreireufpe@hotmail.com](mailto:jadsonfreireufpe@hotmail.com)

Contribuição: Conceituação, Curadoria de dados, Análise formal, Investigação, Visualização de dados, Escrita.

### **2 – Josimar Vieira dos Reis**

Doutorando em Desenvolvimento e Meio Ambiente

<https://orcid.org/0000-0002-4466-1244> • [prej86@gmail.com](mailto:prej86@gmail.com)

Contribuição: Análise formal, Conceituação, Investigação, Escrita.

### **3 – Tayran Oliveira dos Santos**

Mestranda em Desenvolvimento e Meio Ambiente

<https://orcid.org/0000-0003-0330-8177> • [tayran.santos311@gmail.com](mailto:tayran.santos311@gmail.com)

Contribuição: Investigação e revisão.

### **4 – Henrique dos Santos Ferreira**

Doutor em Geografia

<https://orcid.org/0000-0003-3134-4984> • [henri.santus@gmail.com](mailto:henri.santus@gmail.com)

Contribuição: Conceituação, Investigação, Escrita.

### **5 – Mario de Miranda Vilas Boas Ramos Leitão**

Doutor em Meteorologia

<https://orcid.org/0000-0003-0179-0115> • [mario.miranda@univasf.edu.br](mailto:mario.miranda@univasf.edu.br)

Contribuição: Metodologia e revisão.

### **6 – Josiclêda Domiciano Galvêncio**

Doutora em Recursos Naturais

<https://orcid.org/0000-0001-7367-6587> • [josicleda.galvencio@ufpe.br](mailto:josicleda.galvencio@ufpe.br)

Contribuição: Metodologia, edição e revisão.

### **7 – Ana Lúcia Bezerra Candeias**

Doutora em Computação Aplicada

<https://orcid.org/0000-0002-9021-7603> • [analucia@ufpe.br](mailto:analucia@ufpe.br)

Contribuição: Metodologia, edição e revisão final.

## Como citar este artigo

SILVA, J. F.; REIS, J. V. DOS ; SANTOS, T. O. DOS; FERREIRA, H. DOS S.; LEITÃO, M. DE M. V. B. R.; GALVÍNCIO, J. D.; CANDEIAS, A. L. B. Análise dos produtos de evapotranspiração automáticos GEE- SEBAL e do Sistema de Unidades de Resposta Hidrológica para Pernambuco – (SUPER) para regiões hídricas de Serra Talhada no estado de Pernambuco. **Geografia Ensino & Pesquisa**, Santa Maria, v. 26, e33, 2021. DOI 10.5902/2236499468044. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/2236499468044>. Acesso em: dia mês abreviado. ano.