



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA  
DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS

**ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO EM  
DIFERENTES COBERTURAS DA TERRA USANDO O  
ALGORITMO ASEBAL**

*Arthur Henrique Alves Soares*

João Pessoa – PB  
Outubro de 2024

ARTHUR HENRIQUE ALVES SOARES

**ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO EM  
DIFERENTES COBERTURAS DA TERRA USANDO O  
ALGORITMO ASEBAL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso Geografia, do Departamento de geociências, do Centro de Ciências Exatas e da Natureza, da Universidade Federal da Paraíba, como requisito para obtenção do título de Bacharel em geografia.

Orientador: Dr. Richade Marques da Silva  
Coorientador: Dr. Alexandro Medeiros Silva

João Pessoa – PB  
Outubro de 2024

**Catálogo na publicação**  
**Seção de Catalogação e Classificação**

S676e Soares, Arthur Henrique Alves.

Estimativa da evapotranspiração em diferentes coberturas da terra usando o algoritmo ASEBAL / Arthur Henrique Alves Soares. - João Pessoa, 2024.

24 p. : il.

Orientação: Richarde Marques da Silva.

Coorientação: Alexandro Medeiros Silva.

TCC (Curso de Bacharelado em Geografia) - UFPB/CCEN.

1. Evapotranspiração. 2. Algoritmo ASEBAL. 3. MODIS. I. Silva, Richarde Marques da Silva. II. Silva, Alexandro Medeiros Silva. III. Título.

UFPB/CCEN

CDU 91(043.2)

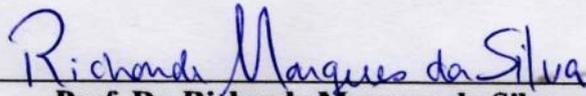
ARTHUR HENRIQUE ALVES SOARES

**ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO EM  
DIFERENTES COBERTURAS DA TERRA USANDO O  
ALGORITMO ASEBAL**

Data: 24/10/2024

Nota: 10,0

**BANCA EXAMINADORA**



**Prof. Dr. Richarde Marques da Silva**

Orientador

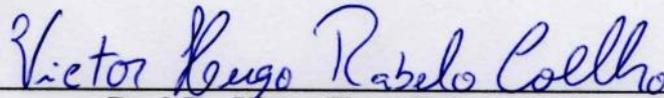
Universidade Federal da Paraíba



**Prof. Dr. Alexandre Medeiros Silva**

Co-orientador

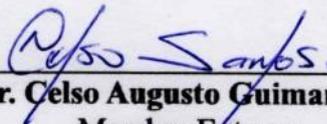
Universidade Federal da Paraíba



**Prof. Dr. Victor Hugo Rabelo Coelho**

Membro Interno

Universidade Federal da Paraíba



**Prof. Dr. Celso Augusto Guimarães Santos**

Membro Externo

Universidade Federal da Paraíba

João Pessoa – PB  
Outubro de 2024

## **ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO EM DIFERENTES COBERTURAS DA TERRA USANDO O ALGORITMO ASEBAL**

**Resumo:** A evapotranspiração é uma das principais variáveis para o estudo do balanço hídrico. Os estados da Paraíba e Rio Grande do Norte enfrentam um problema cada vez mais grave no que diz respeito à gestão dos recursos hídricos, principalmente nas áreas semiáridas. Além disso, grande parte da área desses estados abrigam o bioma da Caatinga. Este estudo visa estimar a evapotranspiração real para toda a área e analisar espacialmente os principais pontos de perda crítica de água e sua dinâmica ao longo dos anos de 2012 a 2021 com o objetivo de gerar dados que possam auxiliar o processo de gestão desse recurso. Para realizar essa estimativa, foi utilizado o algoritmo SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithm For Land*) de forma automatizada (ASEBAL), dados espaciais MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) e dados tabulares de pressão atmosférica (mB), umidade relativa (%), temperatura (°C), velocidade do vento (m/s) e radiação global (W/m<sup>2</sup>) disponíveis em estações pluviométricas. Desta forma, pode-se apontar regiões com maiores (Mata Paraibana e o Leste Potiguar) e menores índices de ET (Oeste potiguar e do Sertão paraibano) durante esse período nos estados. Em paralelo, verificou-se a diminuição de áreas com presença de vegetação arbórea-arbustiva, que em grande parte foi alterada para uma vegetação rasteira, tendo uma redução direta nos valores de ET.

**Palavras-chave:** Evapotranspiração, ASEBAL, MODIS.

## ESTIMATION OF EVAPOTRANSPIRATION IN DIFFERENT LAND COVERS USING ASEBAL ALGORITHM

**Abstract:** Evapotranspiration is one of the main variables for studying water balance. The states of Paraíba and Rio Grande do Norte face an increasingly serious problem with regard to the management of water resources, especially in semi-arid areas. Furthermore, a large part of the area of these states is home to the Caatinga biome. This study aims to estimate the real evapotranspiration for the entire area and spatially analyze the main points of critical water loss and their dynamics over the years 2012 to 2021 with the aim of generating data that can assist the management process of this resource. To carry out this estimate, the SEBAL algorithm (Surface Energy Balance Algorithm For Land) was used in an automated way (ASEBAL), spatial data MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) and tabular data of atmospheric pressure (mB), relative humidity (%), temperature (°C), wind speed (m/s) and global radiation (W/m<sup>2</sup>) available at rain gauge stations. In this way, regions with the highest (Mata Paraibana and East Potiguar) and lowest rates of ET (West Potiguar and Sertão Paraibano) can be identified during this period in the states. In parallel, there was a decrease in areas with the presence of tree-shrub vegetation, which was largely changed to low vegetation, resulting in a direct reduction in ET values.

**Keywords:** Evapotranspiration, ASEBAL, MODIS.

## **SUMÁRIO**

1 INTRODUÇÃO .....	8
2 OBJETIVOS.....	10
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	10
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....	10
3.2 BASES DE DADOS .....	11
3.2.1 DETERMINAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO .....	11
3.2.3 USO E COBERTURA DA TERRA .....	12
3.3 ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO USANDO O ALGORITMO ASEBAL ..	12
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	15
4.2 ESPACIALIZAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO .....	17
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	21
6 REFERÊNCIAS .....	22

# 1 INTRODUÇÃO

A gestão dos recursos hídricos envolve o monitoramento da água, considerando processos como a evapotranspiração (ET) (Oliveira et al., 2014), que é a perda de água do solo e das plantas para a atmosfera (Thornthwaite, 1948), essencial para o equilíbrio dos ecossistemas. A ET é fundamental para entender os principais processos do sistema terrestre envolvendo a água no solo e na atmosfera, pois consome cerca de 60% da precipitação anual (Silva et al., 2019). A ET desempenha um papel importante no balanço hídrico (Xiang et al., 2020).

Estudar a ET em áreas semiáridas é crucial devido à escassez hídrica e à variabilidade climática da região (Marques et al., 2020). Compreender o fenômeno da ET no semiárido brasileiro, por exemplo, é fundamental para a otimização da irrigação e o aumento da produção agrícola (Ferreira e da Silva, 2023). Além disso, entender a dinâmica da ET permite otimizar o uso da água e auxiliar na gestão mais eficiente dos recursos hídricos (Da Silva et al., 2019). A estimativa da ET é crucial para a gestão eficiente da água, pois permite calcular a quantidade de água necessária para a irrigação agrícola, ajudando a manter o equilíbrio hídrico em diferentes ecossistemas (Melo et al., 2021).

A variabilidade espaço-temporal da ET ajuda a identificar áreas críticas de perda de água, auxiliando na tomada de decisões para melhorar a produtividade agrícola, o planejamento dos recursos hídricos e preservar o equilíbrio ecológico (Oliveira et al., 2023). Com a crescente pressão sobre os recursos hídricos, devido as secas recorrentes na região Nordeste, somadas à gestão inadequada desses recursos, agravam os problemas hídricos nessa região (Rodrigues, 2016). Além disso, a carência de longas séries históricas de dados hidro climatológicos observados no semiárido é uma dificuldade enfrentada para a realização de estudos e de uma análise da dinâmica hidrológica (Silva, 2020). Ademais, as dificuldades no monitoramento e a baixa disponibilidade de dados observados sobre ET prejudica análises espaço-temporais (Silva, 2020).

As altas taxas de ET no semiárido brasileiro resultam da combinação de temperaturas elevadas, baixa umidade e intensa radiação solar (Silva et al., 2018). Esses fatores intensificam a perda de água do solo e das plantas, tornando o gerenciamento hídrico um grande desafio. Em regiões agrícolas e de vegetação nativa, como a Caatinga, esse processo reduz a disponibilidade de água, exigindo estratégias eficientes para otimizar a irrigação e minimizar as perdas hídricas (Silva et al., 2024).

Os estados da Paraíba e Rio Grande do Norte, que possuem quase sua totalidade

territorial na região Semiárida do Brasil, foram escolhidos como área de estudo para a estimativa da ET em diferentes coberturas da terra. Para mapear a ET, diversos métodos vêm sendo empregados, desde de dados observados, até os algoritmos baseados em sensoriamento remoto, como o *Surface Energy Balance Algorithm For Land* (SEBAL) (Bastiaanssen et al., 1998), o *Simplified Surface Energy Balance Index* (S-SEBI) (Roerink et al., 2000), o *Two-Source Energy Balance* (TSEB) (Norman et al., 1995), o *Mapping Evapotranspiration at high Resolution with Internalized Calibration* (METRIC) (Allen et al., 2007), o *The Atmosphere-Land Exchange Inverse* (ALEXI) (Anderson et al., 2011), o *the operational Simplified Surface Energy Balance* (SSEBop) (Senay et al., 2013), e o *Surface Energy Balance System* (SEBS) (Su, 2002). Esses algoritmos têm sido amplamente utilizados em todoo planeta e validados em vários biomas e condições climáticas (Grosso et al., 2018; Tang et al., 2013).

Mais recente, esses algoritmos vêm sendo atualizados, majoritariamente com a implementação de automações ao longo do seu processo de execução. Essas novas versões automatizadas tornam a aplicação desses algoritmos mais facilitada e com menos incidência de erros humanos, fornecendo estimativas consistentes em comparação à aplicação manual, especialmente para análise de séries temporais (Laipelt et al., 2020). Dentre essas atualizações, destaca-se o *Automated Surface Energy Balance Algorithm For Land* (ASEBAL) (Silva et al., 2019) e o GRASS-Python SEBAL (GP-SEBAL) (De Lima et al., 2021).

No entanto, ainda há necessidade de refinar alguns processos desses algoritmos, como é o caso da seleção de pixels âncoras, o que pode melhorar ainda mais a precisão do modelo, uma vez que as estimativas de ET são sensíveis às mudanças nos pixels âncoras (Laipelt et al., 2020). Além disso, ainda são escassos os estudos que buscam integrar informações sobre os componentes do balanço hídrico e especificamente da ET em grandes bacias hidrográficas, sobretudo aquelas localizadas no bioma Caatinga.

Atualmente, aplicações de métodos computacionais voltados para a estimativa de ET no semiárido são essenciais devido à capacidade de serem aplicados para grandes áreas com um baixo custo, e com isso, identificar zonas críticas de perda de água, permitindo assim, a realização de ajustes na irrigação conforme a necessidade real das culturas, otimizando o uso dos recursos hídricos. Com tais estudos é possível enfrentar os desafios da sustentabilidade e garantir a segurança hídrica em uma região altamente vulnerável a secas prolongadas.

## 2 OBJETIVOS

Estimar e analisar a variabilidade espaço-temporal dos valores de ET nos estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte nos anos de 2012 a 2021 e correlacionar com as mudanças do uso e cobertura da terra entre 2010 e 2020.

### 2.1 Objetivos específicos

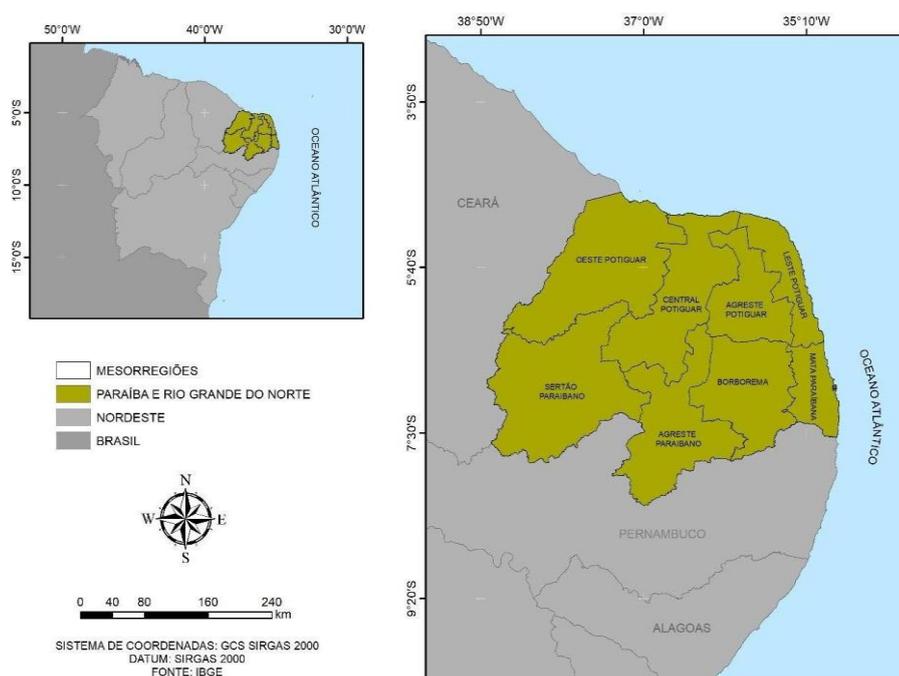
- Estimar a ET utilizando o ASEBAL para os estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte.
- Analisar a variabilidade espaço-temporal da ET.
- Identificar as zonas críticas de perdas de água para os estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte.

## 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

### 3.1 Área de estudo

A área de estudo foi considerada como os limites dos estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte, compreendido pelas coordenadas 4°49'53" S e 8°18'10" S de latitude e 34°47'35" O e 38°45'45" O de longitude, e possuindo área territorial de aproximadamente 110.713 km<sup>2</sup> (Figura 1). A área de estudo foi subdividida em oito mesorregiões geográficas, sendo quatro na Paraíba (Zona da Mata, Agreste Paraibano, Borborema e Sertão Paraibano), e quatro no Rio Grande do Norte (Oeste Potiguar, Central Potiguar, Agreste Potiguar e Leste Potiguar).

**Figura 1.** Mapa de localização da área de estudo e das mesorregiões geográficas dos estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte.



De acordo com a classificação climática de Köppen, a área de estudo apresenta dois tipos de climas dominantes, o BSh, caracterizado como um clima semiárido e quente, e o AS, que se caracteriza por possuir clima quente com chuva de inverno (Alvares et al., 2013). A área de estudo está inserida em dois biomas, a Mata Atlântica (20% da área total) e a Caatinga (80% da área total). O bioma Caatinga se caracteriza por possuir um ecossistema árido com vegetação xerófila, solos rasos e baixo volume de precipitação em quase todo o seu território (Silva et al., 2022). Além disso, as chuvas são esparsas e concentradas em períodos curtos, resultando em eventos de escoamento superficial intenso que, quando combinados com a vegetação escassa e o solo já degradado, intensificam a erosão hídrica (Santos et al., 2021). Já a zona da Mata paraibana, que está localizada no bioma da Mata Atlântica, possui pluviosidade anual média entre 1500 a 2000 mm e uma vegetação do tipo ombrófila densa (Franke et al., 2005).

## **3.2 Bases de dados**

### **3.2.1 Determinação da evapotranspiração**

Como fonte de dados para esse estudo foram utilizadas imagens do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* – MODIS, que está instalado a bordo dos satélites Terra (produtos MOD) e Aqua (produtos MYD). Dentre todos os produtos gerados por esses dois satélites, foram utilizados apenas os produtos do sensor MODIS: (a) MOD09A1 e MYD09A1 (reflectância da superfície), (b) MOD11A2 e MYD11A2 (temperatura e emissividade da superfície). Esses produtos foram utilizados para o período de 2010 e 2021, e foram baixados no Atmosphere Archive & Distribution System Distributed Active Archive Center (LAADS DAAC) site da NASA, disponível no sítio eletrônico <https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov>.

Para a utilização das imagens MODIS, foi realizada uma filtragem para a escolha das imagens com baixa quantidade de nuvens, admitindo a presença de no máximo 3% de nuvens para que as imagens possam ser utilizadas a fim de ter uma baixa interferência no resultado. Outro fator de atenção foi a resolução espacial das imagens, onde os produtos MOD09A1 e MYD11A2 possuem resolução espacial de 500 m e 1000 m, respectivamente. Em seguida, todos os produtos MYD11A2 foram reamostrados para 500 m de resolução espacial, pois o algoritmo necessita que as matrizes sejam de tamanhos iguais.

Para a obtenção das variáveis de declividade e altitude, foi utilizado o Modelo

Digital de Elevação (MDE), com resolução espacial de 30 m, obtido através dos dados da missão *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), gerenciada pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov>.

Os dados meteorológicos utilizados neste estudo foram obtidos na estação climatológica de Monteiro, disponíveis no Banco de dados Meteorológicos (BDMET) do INMET (<https://bdmep.inmet.gov.br>). Esses dados são disponibilizados de forma horária, porém, para se associar com as imagens foi necessário transformá-los em dados diários de: temperatura do ar, umidade, pressão atmosférica, velocidade do vento, média mensal da temperatura do ar, temperatura média mensal do mês com maior NDVI, radiação global e ET de referência diária e mensal. Essa estação foi escolhida devido a qualidade de dados, onde apresenta esse período temporal com a menor quantidade de falhas, pois a falta de dados é um prejudicial para a estimativa, tornando-a menos eficaz.

### **3.2.3 Uso e cobertura da terra**

Os dados de uso e cobertura da terra foram obtidos por meio do produto MCD12Q1 do sensor MODIS, com resolução espacial de 500m, adquiridos através da plataforma *Google Earth Engine* (GEE). Com base nesse produto, foram definidas 8 classes de uso e cobertura da terra de acordo com a área estudada, foram elas: Vegetação arbustiva, Vegetação arbustiva-arbórea, Vegetação arbórea, Vegetação rasteira, Agricultura, Mangue, Corpo hídrico e Área urbana.

Para a análise do período, foi necessário entender a diferença do uso do solo durante o período analisado. Para isso, utilizou-se imagens dos anos de 2010 e 2020, associando os anos iniciais da análise (2012-2015) ao uso do solo de 2010 e os anos finais (2016 – 2021) ao do ano de 2020, a fim de ter uma série temporal suficiente para que as mudanças no uso do solo sejam significativas para influenciar a ET, tanto para uma análise espacial quanto da área ocupada por cada classe.

### **3.3 Estimativa da evapotranspiração usando o algoritmo ASEBAL**

A estimativa da ET foi realizada mediante a aplicação do *Automated Surface Energy Balance Algorithm For Land* (ASEBAL), desenvolvido por Silva et al. (2019). O ASEBAL é um algoritmo automatizado do SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithm For Land*), que é utilizado para estimar a ET real utilizando imagens de satélite, dados complementares de superfície e meteorológicos (Bastiaanssen, 1995). A Figura 2 apresenta

o fluxograma ilustrativo das etapas para a obtenção do saldo de radiação na superfície, onde são usados os produtos MOD09A1 e MYD11A2, o modelo digital de elevação e os dados horários de posto pluviométrico.

O algoritmo ASEBAL é dividido em duas partes: (a) o cômputo do balanço de energia e (b) a determinação da ET. O ASEBAL é baseado no princípio de que a ET pode ser estimada pela conversão feita do valor de LE, a partir do termo residual do balanço de energia superficial (Bhattarai et al., 2017) após a estimativa dos fluxos de energia, como o  $R_n$  (saldo de radiação da superfície) e  $G$  (densidade do fluxo de calor no solo) diretamente usando dados de entrada, a partir da seguinte fórmula:

$$R_n = LE + H + G$$

Onde,  $R_n$  é o saldo de radiação,  $LE$  é a densidade do fluxo de calor latente,  $H$  a densidade de fluxo de calor sensível e  $G$  a densidade de fluxo de calor no solo, todos medidos em  $Wm^{-2}$ .

Para chegar à estimativa da ET, o SEBAL passa por 15 etapas, sendo elas: Calibração radiométrica, Reflectância, Albedo planetário, Albedo de superfície, Índices de vegetação (NDVI, SAVI e IAF), Emissividade, Temperatura de superfície, Radiação de onda longa emitida, Radiação de onda curta incidente, Radiação de onda longa incidente, Saldo de radiação, Fluxo de calor no solo, Fluxo de calor sensível, Fluxo de calor latente e a Evapotranspiração diária ( $mm.dia^{-1}$ ).

$$FE_i = \left( \frac{LE}{R_n - G} \right) = FE_{24h} = \frac{LE_{24h}}{R_{24h}}$$

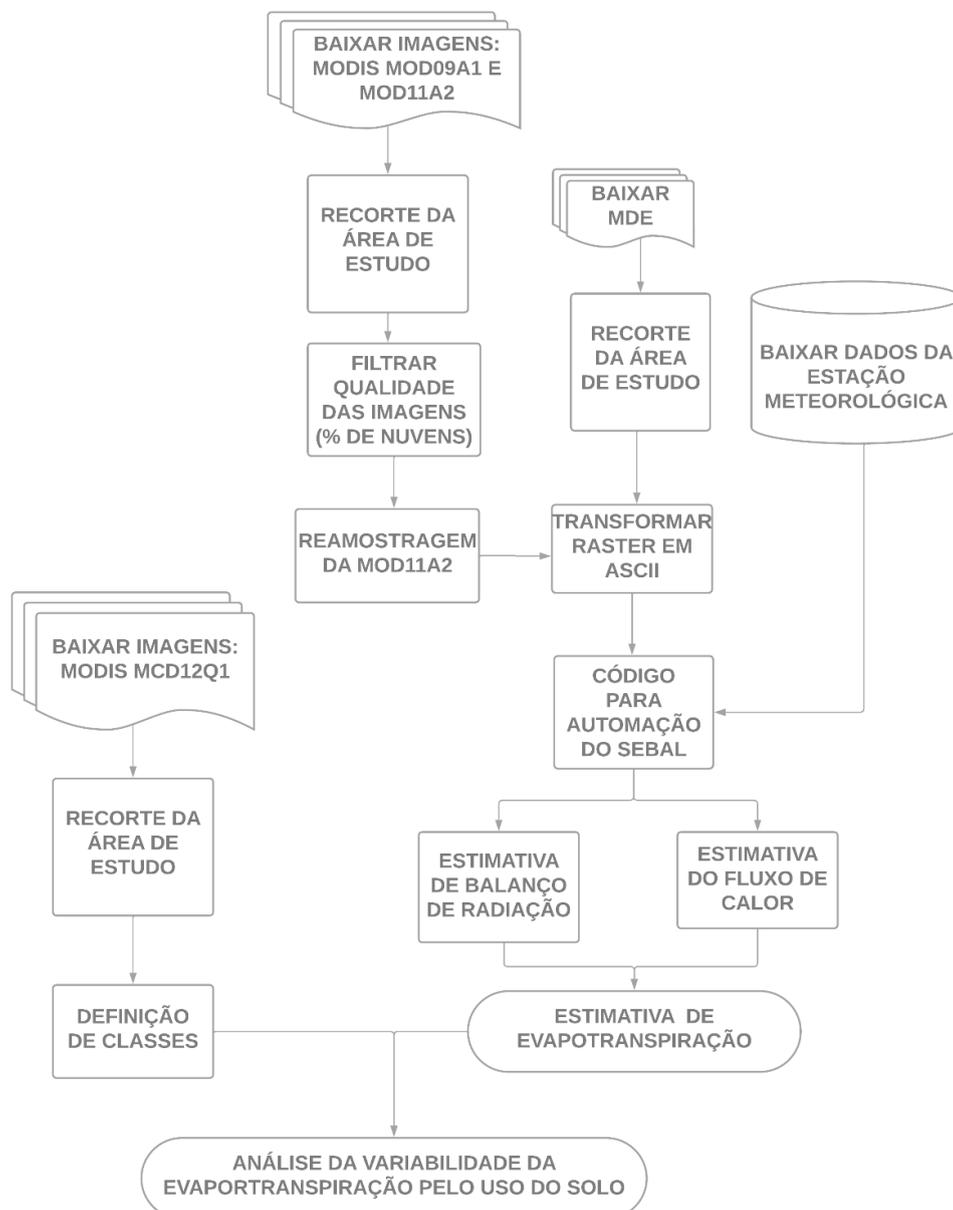
Onde,  $FE_i$  é a fração evaporativa instantânea,  $LE$  é a densidade do fluxo de calor latente,  $R_n$  é o saldo de radiação,  $G$  a densidade de fluxo de calor no solo,  $FE_{24h}$  é a fração evaporativa instantânea diária,  $LE_{24h}$  é a densidade do fluxo de calor latente diária e  $R_{24h}$  é a radiação diária.

A aplicação do algoritmo SEBAL foi totalmente automatizada por meio de um script MATLAB® denominado ASEBAL. Esse script pode ser executado para um número indefinido de imagens, desde que os dados climatológicos de entrada sejam previamente organizados.

Para as imagens do sensor MODIS, foi feito o recorte da área de estudo e em seguida,

devido à quantidade de nuvens nas imagens, foi necessário fazer um filtro para eliminar imagens com mais de 3% de cobertura de nuvens que influenciariam o resultado negativamente, no caso onde imagens MOD não esteja em condições de uso, utiliza-se o produto MYD, se estiver dentro do limite estipulado. Após o recorte e o filtro, o próximo passo foi reamostrar os produtos MOD11A2 e MYD11A2 para que ambos os produtos apresentem o mesmo tamanho de célula (500m) e consigam sobrepor as informações da melhor forma possível, com pixels equivalentes. Por fim, a última etapa de preparação das imagens MODIS é transformá-las em *.txt* para que possam ser utilizadas no código. Com o modelo digital de elevação, primeiramente realizamos um mosaico das imagens para recortar a área de estudo e transformar o MDE do estado no formato *.txt*.

**Figura 2.** Fluxograma dos processos metodológicos.



Os dados da estação meteorológica, pressão atmosférica (mB), umidade relativa (%), temperatura (°C), velocidade do vento (m/s) e radiação global (W/m<sup>2</sup>), são disponibilizados de forma diária associados às imagens de forma que o código reconhece que os dados estão ligados aos dias predominantes das imagens. Após esses processos prévios, foi utilizado o código no MATLAB, que consiste no passo a passo do método SEBAL que abrange a estimativa do balanço de radiação e do fluxo de calor para chegar ao resultado da ET diária.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

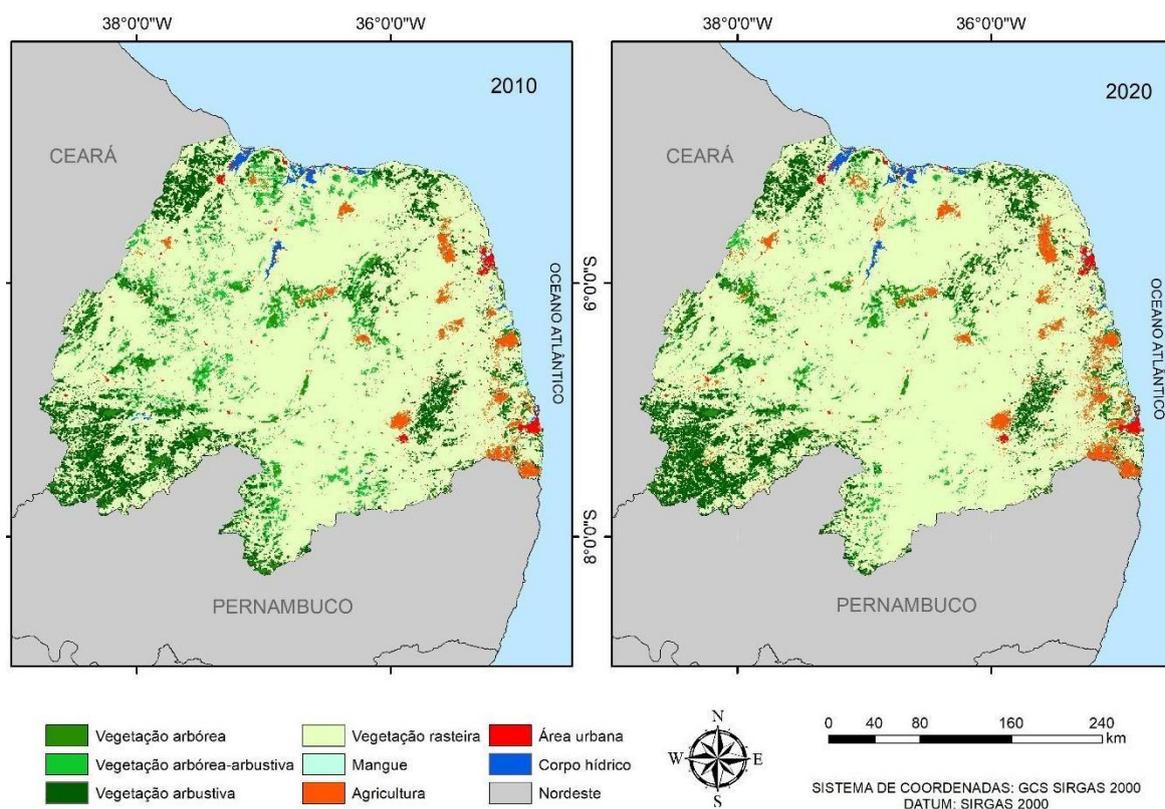
### 4.1 Mapeamento do uso e cobertura da terra

O uso e cobertura da terra é um dos fatores mais importantes para a ET, e entender como ele se modifica ao longo do período nos ajuda a compreender as variações encontradas nos seus valores. A Figura 3 mostra a variação espacial do uso da terra no período de 10 anos (2010 a 2020), onde vemos como principais mudanças o aumento da agricultura nolitotal, assim como uma diminuição da vegetação arbórea e arbustiva, e uma maior predominância da vegetação rasteira, principalmente na região central do estado da Paraíba.

O produto MCD12Q1 está disponível com 17 classes de uso do solo, sendo elas: Evergreen needleleaf forests, Evergreen broadleaf forests, Deciduous needleleaf forests, Deciduous broadleaf forests, Mixed forests, Closed shrublands, Open shrublands, Woody savannas, Savannas, Grasslands, Permanent wetlands, Croplands, Urban and built-up lands, Cropland/Natural vegetation mosaics, Permanent snow and ice, Barren, Water bodies e Unclassified. A partir dessa classificação foi feita uma reclassificação para 8 classes: Vegetação arbórea (Evergreen broadleaf forests, Deciduous broadleaf forests), Vegetação arbórea-arbustiva (Mixed forests), Vegetação arbustiva (Closed shrublands, Open shrublands, Woody savannas, Savannas), Vegetação rasteira (Grasslands), Mangue (Permanent wetlands), Agricultura (Croplands, Cropland/Natural vegetation mosaics), Área urbana (Urban and built-up lands, Barren) e Corpo hídrico (Water bodies).

Para entender melhor a dinâmica de variação da cobertura do solo, a Tabela 1 traz a área de cobertura que cada classe, em km<sup>2</sup>, mostrando variações principalmente na agricultura, onde houve um aumento de mais de 1000 km<sup>2</sup> e uma diminuição da vegetação arbustiva-arbórea de 3000 km<sup>2</sup>. Importante ressaltar que algumas variações de baixa porcentagem podem ser consideradas como incertezas do próprio produto.

**Figura 3.** Uso e cobertura da terra para os anos de 2010 e 2020.



Os resultados mostram uma leve redução na área ocupada por vegetação arbustiva (-2,58%) e corpos hídricos (-4,58%), além de uma diminuição significativa nas áreas de mangue (-17,95%) e vegetação arbustiva-arbórea (-52,37%), indicando possível degradação ambiental ou conversão para outros usos. Por outro lado, houve um aumento expressivo na área destinada à agricultura (+56,01%), sugerindo um avanço das atividades agrícolas sobre outras formas de uso do solo.

**Tabela 1.** Variação no uso da terra entre 2010 e 2020.

Usos da terra	2010		2020		Variação (%)
	Área (km <sup>2</sup> )	%	Área (km <sup>2</sup> )	%	
Vegetação arbustiva	11356	10	11063	10	-2,58
Corpo hídrico	682	1	651	1	-4,58
Vegetação rasteira	87197	79	89309	81	2,42
Área urbana	753	1	740	1	-1,76
Mangue	286	0	234	0	-17,95
Agricultura	2226	2	3473	3	56,01
Vegetação arbórea	2476	2	2511	2	1,38
Vegetação arbustiva-arbórea	5738	5	2733	2	-52,37
<b>Total</b>	<b>110.713</b>	<b>100</b>	<b>110.713</b>	<b>100</b>	—

A vegetação rasteira, que ocupa a maior parte da área total, apresentou um leve aumento (+2,42%), enquanto a área urbana teve uma pequena redução (-1,76%). Essas mudanças refletem as dinâmicas de uso e ocupação da terra na região, possivelmente influenciadas por fatores socioeconômicos, ambientais e políticas públicas ao longo da década. Assim, é importante destacar que esses resultados podem ter sido obtidos devido às incertezas dos produtos utilizados. Essa variação mesmo, se o uso do solo for de 500 m de resolução espacial, representa 52 pixels apenas, isto é, uma pequena área da classe estudada, quando comparada com toda a cena estudada. Os resultados mostram que em 2010 e 2020, a vegetação rasteira se destacou como o principal uso da terra, representando 79% da área total em ambos os anos. Esse domínio reflete a importância dessa cobertura vegetal na região, possivelmente em áreas semiáridas ou de pastagens naturais.

O segundo uso da terra mais representativo em ambos os anos foi a vegetação arbustiva, embora tenha apresentado uma ligeira redução de 10% em 2010 para 9,9% em 2020. Essa diminuição pode indicar um processo de conversão de terras para outros usos, como a agricultura. Outro uso significativo foi a agricultura, que cresceu substancialmente de 2% em 2010 para 3,1% em 2020. Esse aumento de 56,01% indica uma expansão das atividades agrícolas, possivelmente em detrimento de áreas naturais ou menos intensivamente utilizadas. Os resultados obtidos mostraram que as classes área urbana e corpo hídrico mantiveram percentuais baixos em ambos os anos, com pequenas variações, enquanto o mangue e a vegetação arbustiva-arbórea apresentaram reduções significativas, destacando pressões sobre esses ecossistemas.

#### **4.2 Espacialização da evapotranspiração**

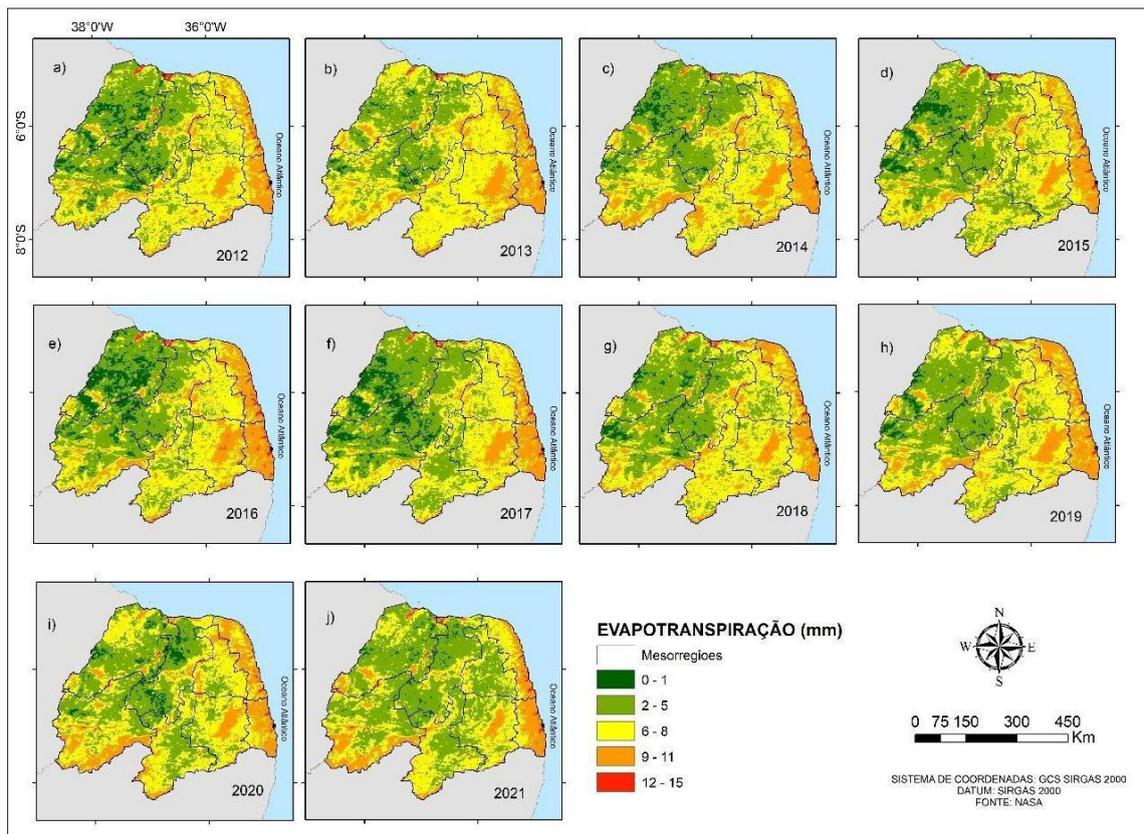
Devido o filtro de quantidade de nuvens, os anos foram analisados com um número diferente de imagens, a tabela 2 traz a quantidade de imagens utilizadas em cada ano, onde o máximo de imagens no ano está em torno de 45 imagens, o ano que houve maior quantidade de imagens com menos de 3% de nuvens foi em 2012 com 25 imagens enquanto o ano de 2014 foram utilizadas apenas 14 imagens. Os resultados foram feitos a partir da média das imagens de cada ano.

**Tabela 2.** Quantidade de imagens utilizadas por ano.

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
<b>Nº de imagens</b>	25	19	14	18	23	16	17	20	16	20

A Figura 4 mostra a média anual da ET diária durante os anos estudados (2012–2021), onde podemos observar padrões e variações espaciais do fenômeno. A mesorregião da mata paraibana se mantém apresentando valores elevados durante todo o período, sem muitos pontos de alteração, enquanto a mesorregião Leste potiguar, apresenta variações em sua porção norte nos anos de 2017 (f) e 2021 (j) com menores índices enquanto anos como 2015 (d), 2018 (g) e 2019 (h) mostram valores elevados em toda área da região.

**Figura 4.** Média anual da ET diária no período de 2012 a 2021.



Os resultados mostram uma tendência espacial em que todos os anos, a ET foi mais baixa nas regiões central e norte, enquanto as áreas do leste e do sul apresentam ET mais alta. Essas diferenças estão provavelmente relacionadas à variação de cobertura vegetal, solo e disponibilidade de água, com as áreas de menor ET possivelmente sendo regiões de vegetação menos densa ou mais expostas à radiação solar direta. Como esperado, os maiores valores de ET ocorreram nas áreas de vegetação densa, como pode ser visto na tabela abaixo. Os menores valores de ET estão relacionados a baixa cobertura vegetal. Se você observar a imagem do uso do solo, perceba que as áreas de vegetação mais densa possuem maiores valores de ET, como no caso da região Sudoeste.

Diante desses resultados, pode-se destacar que se estamos avaliando a ET em uma

área florestada, espera-se que ela seja alta, mostrando que a vegetação está saudável, assim como em áreas de agricultura. Consequentemente, se temos uma cultura que apresenta baixo valor de ET em um estado de desenvolvimento avançado, isso pode indicar que essa cultura está passando por um estresse hídrico, e que precisa de mais irrigação ou até mesmo que pode estar acometida por pragas.

No que tange, a variação temporal, percebe-se que em 2012, a ET apresentou uma distribuição típica, com áreas os maiores valores de ET concentrados nas porções leste e sudoeste da área de estudo. Entre 2013 e 2015, a área de alta ET apresentou uma expansão, indicando anos de maior estresse hídrico, talvez associado a menores índices de precipitação ou temperaturas mais elevadas, quando comparado com anos anteriores, devido ao fato desse período ter sido caracterizado por um dos anos mais secos da história dessa região (Silva et al., 2024). Os resultados mostram ainda que a partir de 2016 há um aumento da ET decorrente do aumento do volume precipitado na região. Nota-se que nos anos de 2019 e 2021 houve uma diminuição das áreas de alta ET, sugerindo uma possível recuperação hídrica ou mudanças nos padrões de precipitação e vegetação.

Diante do exposto, as flutuações na ET ao longo dos anos na área de estudo refletem as dinâmicas climáticas e ambientais da região. A região Nordeste do Brasil é uma área suscetível a secas periódicas, e a ET é influenciada diretamente pela disponibilidade de água no solo e pela intensidade de radiação solar (Medeiros et al., 2017). A variação de ET também pode estar associada às mudanças no uso da terra, como a agricultura e o desmatamento (Bezerra et al., 2022). Além disso, a mudança no comportamento da ET também pode estar associada a políticas de conservação ambiental ou práticas agrícolas que favoreçam a retenção de umidade no solo. A continuidade desse padrão pode fornecer insights valiosos sobre as tendências futuras e a resiliência da região frente às mudanças climáticas.

A Tabela 2 mostra os valores médios diários da ET para as mesorregiões da Paraíba e do Rio Grande do Norte entre 2012 e 2021. Os resultados mostram que a mesorregião da Mata Paraibana apresentou os maiores valores durante os 10 anos, mantendo uma média acima de 10 mm diários, seguido do Leste Potiguar com 9 mm/dia de ET. Essas duas mesorregiões possuem os maiores totais de precipitação da região estudada, assim, possuem uma vegetação mais saudável e com mais vigor, quando comparada com a vegetação do bioma Caatinga.

A mesorregião Oeste Potiguar é a que possui os menores valores entre os estados, com 5mm diários, seguido da central potiguar com média entre 5 e 6 mm/dia. Observa-se

ainda que as mesorregiões Mata Paraibana e o Leste Potiguar apresentaram as maiores médias de ET ao longo dos anos, com valores consistentes acima de 10 mm/dia, refletindo regiões com maior disponibilidade hídrica e cobertura vegetal densa.

Nota-se ainda que, as mesorregiões Oeste Potiguar e o Sertão Paraibano tiveram as menores médias de ET, com valores frequentemente abaixo de 6 mm/dia. Essas regiões, caracterizadas por climas mais secos e vegetação menos densa, mostram uma menor demanda evaporativa. Os resultados mostram ainda que, entre 2012 e 2021, a ET mostrou uma leve tendência de estabilização em várias mesorregiões, embora tenha havido variações anuais, como a queda no Oeste Potiguar em 2019 (4,05 mm/dia) e o aumento na Mata Paraibana em 2014 (10,6 mm/dia).

**Tabela 2.** Média diária da ET por mesorregião entre 2012 e 2021.

Mesor-regiões	2012		2013		2014		2015		2016		2017		2018		2019		2020		2021	
	M	DP																		
Sertão Paraibano	5,92	2,7	6,64	2,5	7,18	2,5	6,22	2,6	6,08	2,7	5,37	2,6	6,33	2,7	6,62	2,6	7,51	2,4	7,4	2,4
Borborema	7,35	1,9	7,33	1,8	8,01	1,9	6,84	1,6	7,19	1,7	6,5	1,7	7,84	1,8	7,33	1,8	7,06	2,1	6,88	1,9
Agreste Paraibano	8,62	1,4	8,9	1,4	8,88	1,6	7,87	1,8	8,87	1,7	8,54	1,6	8,3	1,6	8,63	1,7	7,93	1,8	7,33	1,8
Mata Paraibana	10,1	1,2	10,2	1,0	10,6	1,1	10,2	1,4	10,7	1,2	10,4	1	10,1	1,4	10,4	1,0	10,1	1,1	10,3	1,5
Oeste Potiguar	4,84	2,4	5,61	2,2	4,8	2,4	5,05	2,5	4,05	2,5	4,45	2,4	5,45	2,3	5,76	2,3	5,85	2,4	5,9	2,3
Central Potiguar	5,77	2,5	5,91	2,3	6,17	2,3	6,33	2,3	5,99	2,4	5,59	2,3	6,31	2,4	6,24	2,3	5,37	2,6	5,51	2,1
Agreste Potiguar	7,52	1,5	8,48	1,5	7,72	1,7	7,81	1,5	8,1	1,4	7,69	1,4	7,58	1,6	8,17	1,6	7,92	1,7	6,11	1,7
Leste Potiguar	9,54	1,4	9,77	1,2	9,69	1,2	9,79	1,3	10,1	1,4	9,5	1,4	9,98	1,4	10,1	1,2	10	1,2	9,33	1,8

M = Média, e DP = desvio padrão.

O desvio padrão manteve-se relativamente baixo nas regiões com maior média de ET, como Mata Paraibana e Leste Potiguar, indicando menor variabilidade anual nesses locais. No entanto, mesorregiões como o Sertão Paraibano e Central Potiguar apresentaram desvios padrão mais altos, sugerindo maior variabilidade nas condições climáticas e, conseqüentemente, na ET ao longo dos anos analisados. Esses dados são essenciais para a gestão dos recursos hídricos, influenciando decisões sobre preservação ambiental, pois a partir de um balanço temporal, conseguimos compreender os padrões de comportamento e se faz possível uma projeção hídrica futura, entendendo como a mudança da vegetação, as

transformações no solo influenciam no regime hídrico da região.

A Tabela 3 apresenta a média diária da ET por diferentes usos da terra entre 2012 e 2021. A classe vegetação arbórea-arbustiva (VAA) e a vegetação arbórea (VAB) apresentaram médias elevadas, com variações relativamente estáveis ao longo dos anos.

**Tabela 3.** Média diária da ET por uso da terra entre 2012 e 2021.

Usos da terra	2012		2013		2014		2015		2016		2017		2018		2019		2020		2021	
	M	D P																		
VAU	8,1	2,1	8,5	2,0	8,6	2,4	8,3	2,1	8,4	2,4	7,9	2,2	8,8	2,0	8,8	2,0	9,2	1,8	8,9	1,9
CH	11,6	2,9	11,4	2,5	10,9	2,7	11,3	2,9	11,0	3,6	10,6	3,1	11,1	2,6	11,1	2,6	10,7	2,6	11,2	2,6
VR	6,3	2,6	6,8	2,4	6,8	2,5	6,4	2,4	8,3	3,0	8,2	2,8	8,1	2,6	8,1	2,6	8,3	2,6	7,9	2,7
AU	9,0	3,0	9,2	2,7	8,9	3,0	9,0	2,7	6,4	2,8	6,0	2,6	6,7	2,4	6,7	2,4	6,7	2,4	6,4	2,2
MA	12,3	1,6	12,0	1,9	11,8	1,9	11,4	3,1	9,3	3,1	9,0	2,8	9,1	2,8	9,1	2,8	8,5	2,8	9,2	2,7
AG	8,4	2,3	8,8	2,1	8,8	2,5	8,3	2,3	13,3	1,0	12,6	1,1	12,8	0,9	12,8	0,9	12,4	1,0	12,8	0,8
VAB	10,2	1,3	10,5	1,2	10,7	1,3	10,4	1,2	10,2	1,6	9,6	1,5	10,4	1,4	10,4	1,4	10,3	1,4	10,1	1,6
VAA	11,0	0,7	11,3	0,6	11,3	0,6	11,3	0,6	11,6	0,6	11,0	0,6	11,6	0,6	11,6	0,6	11,2	0,6	11,2	0,8

M = Média, DP = Desvio Padrão, VAU = Vegetação arbustiva, CH = Corpo hídrico, VR = Vegetação rasteira, AU = Área urbana, MA = Mangue, AG = Agricultura, VAB = Vegetação arbórea, e VAA = Vegetação arbustiva-arborea.

Em contraste, a área urbana (AU) e a vegetação rasteira (VR) registraram as menores médias de ET, refletindo a menor capacidade dessas áreas de reter umidade. A classe agricultura (AG) apresentou um aumento expressivo na ET, especialmente a partir de 2018, alcançando médias de até 12,8 mm/dia em 2018 e 2021. Esse crescimento pode estar relacionado à intensificação das atividades agrícolas e ao manejo da irrigação. Os valores de DP indicam uma certa variabilidade nas médias, principalmente nas áreas de corpo hídrico e mangue, sugerindo flutuações nas condições climáticas e nos processos de ET ao longo dos anos.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa se propôs a utilizar o algoritmo ASEBAL para estimar a ET nos estados da Paraíba e Rio Grande do Norte durante os anos de 2012 a 2021, testando sua aplicabilidade em uma área diferente da que já foi testado anteriormente, identificando padrões espaciais da ET no estado e seu comportamento temporal.

As regiões do Oeste Potiguar e do Sertão Paraibano apresentam as áreas com os menores valores, localizados na porção norte da região paraibana e na porção central-sul da região potiguar, essa região de baixos valores se estende também para a região central potiguar. A maior variação se apresenta quando analisada as classes de uso do solo, onde há uma diminuição de ET nas classes de mangue e da área urbana a partir do ano de 2015.

Em uma curta escala de tempo, o algoritmo conseguiu estimar a ET de forma rápida. O estudo mostra a importância de monitorar a ET como um indicador ambiental crucial, refletindo as condições climáticas e a disponibilidade de recursos hídricos. O acompanhamento contínuo dessas variações é fundamental para gestão hídrica e agrícola, principalmente em regiões vulneráveis como o Nordeste brasileiro.

Para uma continuidade no estudo, sugere-se uma análise individual de cada mesorregião, a fim de compreender suas particularidades, também o uso de outras estações climatológicas que consigam representar melhor toda a área estudada e também uma validação dos resultados a partir de estações já existentes.

## 6 REFERÊNCIAS

ALLEN, R.; KILIC, A.; TREZZA, R.; HENDRICKX, J.; BASTIAANSEN, W.G.M.; KJAERGAARD, J. Satellite-based ET estimation in agriculture using SEBAL and METRIC. *Hydrological Processes*, v. 25, p. 4011-4027, 2011.

ALLEN, R.; TASUMI, M.; TREZZA, R. Satellite-Based Energy Balance for Mapping Evapotranspiration with Internalized Calibration (METRIC) – Model. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, v. 133, n. 4, 133, 2007.

ALLEN, R.G.; TASUMI, M.; TREZZA, R. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) model. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 133(4), 380-394, 2007.

ALLEN, R.G.; TASUMI, M.; TREZZA, R.; WATERS, R.; BASTIAANSEN, W. *Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) – Advanced training and User's Manual*, Idaho, 2002, 98p.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; de MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, p. 711-728, 2013.

ANDERSON, M.; KUSTAS, W.P.; NORMAN, J.; HAIN, C.; MECIKALSKI, J.R.; SCHULTZ, L.; GONZÁLEZ-DUGO, M.; CAMMALLERI, C.; D'URSO, G.; PIMSTEIN, A. Mapping daily evapotranspiration at field to continental scales using geostationary and polar orbiting satellite imagery. *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 15, n. 223, 2011.

BASTIAANSEN, W.G.M. SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated

Gediz Basin, Turkey. *Journal of Hydrology*, v. 229, n. 1-2, p. 87-100, 2000.

BASTIAANSEN, W.G.M.; MENENTI, M.; FEDDES, R.A.; HOLTSLAG, A.A.M. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL) 1. Formulation. *Journal of Hydrology*, v. 212-213, p. 213-229, 1998.

BEZERRA, B.G., SANTOS E SILVA, C.M., MENDES, K.R., MUTTI, P.R., FERNANDES, L.S., MARQUES, T.V., LUCIO, P.S. CO<sub>2</sub> exchanges and evapotranspiration of a grazed pasture under tropical climate conditions. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 323, p. 109088, 2022.

BHATTARAI, N.; QUACKENBUSH, L.J.; IM, J.; SHAW, S.B. A new optimized algorithm for automating endmember pixel selection in the SEBAL and METRIC models. *Remote Sensing of Environment*, v. 196, p. 178-192, 2017.

DA SILVA, H.J.F.; GONÇALVES, W.A.; BEZERRA, B.G. Comparative analyzes and use of evapotranspiration obtained through remote sensing to identify deforested areas in the Amazon. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v. 78, p. 163-174, 2019.

DE LIMA, C.E.S., COSTA, V.S.O., GALVÍNCIO, J.D., DA SILVA, R.M., SANTOS C.A.G. Assessment of automated evapotranspiration estimates obtained using the GP-SEBAL algorithm for dry forest vegetation (Caatinga) and agricultural areas in the Brazilian semiarid region. *Agricultural Water Management*, v. 250, p. 106863, 2021.

DE OLIVEIRA, M.L.; DOS SANTOS, C.A.C.; DE OLIVEIRA, G.; SILVA, M.T.; DA SILVA, B.B.; CUNHA, J.E.B.L.; RUHOFF, A.; SANTOS, C.A.G. Remote sensing-based assessment of land degradation and drought impacts over terrestrial ecosystems in Northeastern Brazil. *Science of The Total Environment*, v. 835, p. 155490, 2022.

FERREIRA, T. R.; DA SILVA, B.B. Assessment of water demands for irrigation using energy balance and satellite data fusion models in cloud computing: A study in the Brazilian semiarid region. *Agricultural Water Management*, v. 281, p. 108260, 2023.

FRANKE, C.R.; ROCHA, P.L.B.; KLEIN, W.; GOMES, S.L. *Mata Atlântica e biodiversidade*. Salvador: Edufba, 2005.

GROSSO, C.; MANOLI, G.; MARTELLO, M.; CHEMIN, Y.H.; PONS, D.; TEATINI, P.; PICCOLI, I.; MORARI, F. Mapping Maize Evapotranspiration at Field Scale Using SEBAL: A Comparison with the FAO Method and Soil-Plant Model Simulations. *Remote Sensing*, v. 10, p. 1452, 2018.

LAIPELT, L.; RUHOFF, A.L.; FLEISCHMANN, A.S.; KAYSER, R.H.B.; KICH, E.D.M.; DA ROCHA, H.R.; 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 Sensing*, v. 12, p. 1108, 2020.

MARQUES, T.V.; MENDES, K.; MUTTI, P.; M.; SILVA, L.; PEREZ-MARIN, A.M.; CAMPOS, S.; LÚCIO, P.S.; LIMA, K.; DOS REIS, J.; RAMOS, T.M.; DA SILVA, D.F.; OLIVEIRA, C.P.; COSTA, G.B.; ANTONINO, A.C.D.; MENEZES, R.S.C.; SANTOS E SILVA, C.M.; BEZERRA, B. Environmental and biophysical controls of evapotranspiration from Seasonally Dry Tropical Forests (Caatinga) in the Brazilian Semiarid. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 287, p. 107957, 2020.

MEDEIROS, F.J.; SILVA, C.M. SANTOS, E.; BEZERRA, B.G. Calibration of Ångström-Prescott Equation to Estimate Daily Solar Radiation on Rio Grande do Norte State, Brazil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 32, p. 409-416, 2017.

MELO, D. C. D.; ANACHE, J. A. A.; BORGES, V. P.; MIRALLES, D. G.; MARTENS, B.; FISHER, J. B.; NÓBREGA, R. L. B.; MORENO, A.; CABRAL, O. M. R.; RODRIGUES, T. R.; BEZERRA, B.; SILVA, C. M. S.; NETO, A. A. MEIRA; MOURA, M. S. B.; MARQUES, T. V.; CAMPOS, S.; NOGUEIRA, J. S.; ROSOLEM, R.; SOUZA, R. M. S.; ANTONINO, A. C. D. Are Remote Sensing Evapotranspiration Models Reliable Across South American Ecoregions? *Water Resources Research*, v. 57, p. e2020WR028752, 2021.

OLIVEIRA, L. M. M. de; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SILVA, B. B. da; ANTONINO, A. C. D.; MOURA, A. E. S. S. de. Evapotranspiração real em bacia hidrográfica do Nordeste brasileiro por meio do SEBAL e produtos MODIS. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 18, n. 10, p. 1039-1046, 2014.

OLIVEIRA, M. L.; DOS SANTOS, C.A.C.; SANTOS, F. A. C.; OLIVEIRA, G.; SANTOS, C.A.G.; BEZERRA, U.A.; CUNHA, J. E. B. L.; SILVA, R. M. Evaluation of Water and Carbon Estimation Models in the Caatinga Biome Based on Remote Sensing. *Forests*, v. 14, p. 828, 2023.

RODRIGUES, C.B. Propensão socioeconômica à desertificação e gestão ambiental nos municípios do semiárido brasileiro. UFCE. Fortaleza, 2016.

SANTOS, J. Y. G.; MONTENEGRO, S.M.G.L.; SILVA, R.M.; SANTOS, C.A.G.; QUINN, N.W.; XAVIER, A.P.C.; RIBEIRO NETO, A. Modeling the impacts of future LULC and climate change on runoff and sediment yield in a strategic basin in the Caatinga/Atlantic Forest ecotone of Brazil. *Catena*, v. 203, p. 105308, 2021.

SENAY, G.B.; BOHMS, S.; SINGH, R.K.; GOWDA, P.H.; VELPURI, N.M.; ALEMU, H.; VERDIN, J.P. Operational Evapotranspiration Mapping Using Remote Sensing and Weather Datasets: A New Parameterization for the SSEB Approach. *Journal of the American Water Resources Association*, v. 49, p. 577-591, 2013.

SILVA, A.M. Relação da variabilidade espaço-temporal da cobertura do solo e da evapotranspiração utilizando o algoritmo SEBAL automatizado na bacia do Rio Ipanema. UFPB. 2017.

SILVA, A.M., SILVA, R.M., SANTOS, C.A.G. Automated surface energy balance algorithm for land (ASEBAL) based on automating endmember pixel selection for evapotranspiration calculation in MODIS orbital images. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v. 79, n. 1, p. 1-11, 2019.

SILVA, A.M.; SILVA, R.M.; SANTOS, C.A.G.; COELHO, V.H.R. Estimativa da evapotranspiração utilizando algoritmo automatizado do SEBAL: O caso da bacia hidrográfica do Rio Ipanema. XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Santos, 2019.

SILVA, A.M.; SILVA, R.M.; SANTOS, C.A.G.; LINHARES, F.M.; XAVIER, A.P.C. Modeling the effects of future climate and land use changes on streamflow in a headwater basin in the Brazilian Caatinga biome. *Geocarto International*, v. 37, p. 12436-12465, 2022.

SILVA, D.J.F.; SILVA, T.R.F.; OLIVEIRA, M.L.; OLIVEIRA, G.; MISHRA, M.; SANTOS, C.A.G.; SILVA, R.M.; DOS SANTOS, C.A.C. Analysis of surface radiation fluxes and environmental variables over Caatinga vegetation with different densities. *Journal of Arid Environments*, v. 222, p. 105163, 2024.

SILVA, G.J.F. Modelagem dos componentes do balanço hídrico e monitoramento da seca em bacia hidrográfica no bioma Caatinga. UFPB. João Pessoa. 2020.

SILVA, G.J.F.; SILVA, R.M.; BRASIL NETO, R. M.; Silva, J.F.C.B.C.; DANTAS, A.P.C.; SANTOS, C.A.G. Multi-datasets to monitor and assess meteorological and hydrological droughts in a typical basin of the Brazilian semiarid region. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 196, p. 285, 2024.

SILVA, R.M.; SANTOS, C.A.G.; MARANHÃO, K.U.A.; SILVA, A.M.; LIMA, V.R.P. Geospatial assessment of eco-environmental changes in desertification area of the Brazilian semi-arid region. *Earth Sciences Research Journal*, v. 22, p. 175-186, 2018.

SU, B. The Surface Energy Balance System (SEBS) for Estimation of Turbulent Heat Fluxes. *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 6, n. 1, p. 85-100, 2002

TANG, R.; LI, Z.-L.; CHEN, K.-S.; JIA, Y.; LI, C.; SUN, X. Spatial-scale effect on the SEBAL model for evapotranspiration estimation using remote sensing data. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 174-175, p. 28–42, 2013.

THORNTHWAITE, C.W. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, v. 38, n. 1, p. 55-94, 1948.

XIANG, K.; LI, Y.; HORTON, R.; FENG, H. Similarity and difference of potential evapotranspiration and reference crop evapotranspiration – a review. *Agricultural Water Management*, v. 232, p. 106043. 2020.